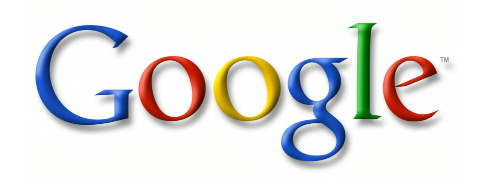
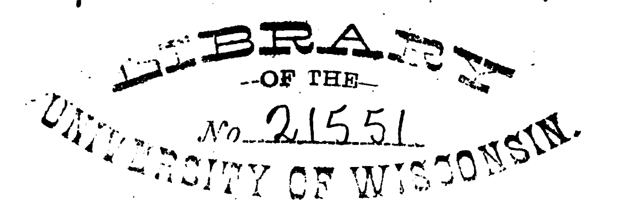
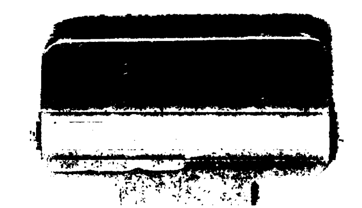





LIBRARY
OF THE
No 21551
UNIVERSITY OF WISCONSIN.



MACHINES A VAPEUR

A TRIPLE ET QUADRUPLE EXPANSION

LES

MACHINES A VAPEUR

A

TRIPLE ET QUADRUPLE EXPANSION

ET LES

PROGRÈS RÉCENTS DES APPAREILS DE NAVIGATION

PAR

MAURICE DEMOULIN
Ingénieur des Arts et Manufactures.

PARIS
LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE, BAUDRY ET Cie, ÉDITEURS
15, RUE DES SAINTS-PÈRES, 15
MAISON A LIÈGE, RUE DES DOMINICAINS, 7

1890

AVANT-PROPOS

Nous avons publié, il y a quelques années, une étude sur les machines compound à triple expansion. Depuis cette époque, bien des perfectionnements ont été réalisés, et ces appareils, qui n'étaient encore employés qu'exceptionnellement, se sont répandus, particulièrement dans la marine, d'une manière générale. Il est intéressant, croyons-nous, de revenir à nouveau sur ce sujet en lui donnant le développement que comporte son importance, et en insistant sur les points que la pratique de ces dernières années a démontré être les plus intéressants.

Nous n'avons pas eu l'intention de refaire la théorie des machines compound, que l'on trouvera dans un grand nombre de publications, toutes signées de personnes autorisées. Le but de cette étude est entièrement pratique : sans entrer dans des discussions souvent stériles, nous nous bornerons autant que possible à résumer les règles que l'expérience la plus récente a consacrées, et à énoncer les résultats obtenus.

Dans notre brochure de 1885, nous n'avons pu citer l'exemple d'aucune machine fixe à triple expansion, car il n'en n'avait pas encore été construit, à notre connaissance. Les choses ont marché depuis, et nous donnerons les dimensions d'un certain nombre de ces machines qui, nombreuses déjà, sont appelées à se répandre rapidement, surtout pour les grandes installations.

Nous choisirons quelques exemples parmi les machines les plus récentes, nous décrirons leur agencement et les détails de

construction que l'adoption des hautes pressions et des grandes détentes ont généralisés.

Nous passerons plus rapidement sur certains faits, encore peu connus à l'époque ou nous avons écrit pour la première fois sur ce sujet, et qui n'ont plus aujourd'hui besoin d'être démontrés ou mis en lumière.

Il est actuellement permis, en ce qui concerne les appareils de navigation, de regarder les machines compound simples comme une chose du passé ; on n'en construit plus guère, depuis 1885, si ce n'est pour de petits bâtiments à destination spéciale ou pour des navires à aubes. La vogue, et la vogue justifiée par de nombreux résultats, est aux machines à triple et à quadruple expansion, fonctionnant à des pressions de 10 à 13 kil.

L'économie de vapeur, si importante déjà pour les machines fixes, acquiert un intérêt capital en navigation. D'abord, eu égard à la puissance beaucoup plus grande des appareils marins, elle se manifeste par des quantités de charbon bien supérieures; ensuite, le combustible épargné peut être remplacé par un fret rémunérateur. En ce qui concerne les navires de guerre, l'économie de charbon n'est pas moins importante, car, pour une même quantité de combustible embarqué, elle permettra d'obtenir un rayon d'action plus grand. La diminution de la consommation devient alors un auxiliaire puissant. Sans elle, la réalisation des transatlantiques à grande vitesse serait restée chimérique.

Nous nous occuperons surtout des machines marines, lesquelles présentent des applications plus larges et plus nombreuses du système de détente qui fait l'objet de cette étude.

LES MACHINES A VAPEUR

A TRIPLE ET QUADRUPLE EXPANSION

PREMIÈRE PARTIE

Sans vouloir refaire un historique, probablement connu de tous nos lecteurs, nous sommes désireux de rappeler que c'est à un de nos compatriotes, M. Benjamin Normand, que sont dues les premières applications du principe de la triple expansion aux appareils de navigation. Ce même ingénieur avait été du reste, quelques années auparavant, un des promoteurs les plus actifs et les plus convaincus du mode compound. Persuadé comme il l'était des avantages que présentaient les machines construites suivant ce dernier système, cet esprit, si ingénieux et si droit, auquel nous nous plaisons à rendre ici hommage, ne pouvait se méprendre sur l'avenir qui attendait l'extension de ce principe fécond.

Il n'en est pas moins vrai qu'il en a été, pour ce genre de machines comme pour nombre d'autres innovations, et que la France, après avoir donné l'exemple, s'est laissée notablement distancer par les Anglais. Ceux-ci ont pu passer, grâce aux nombreuses applications qu'ils en ont faites, pour avoir appliqué les premiers, le principe de la triple et de la quadruple expansion. De 1879 à 1885, il ne fut pas construit en France de machines à triple expansion, malgré les résultats que les premières avaient donnés. Depuis cette époque, les avantages des machines à cascades se sont fait jour d'une manière éclatante, et nos constructenrs se sont lancés hardiment dans une voie qui paraît mener sûrement au progrès.

Aujourd'hui, en raison de l'avilissement du fret et de la concurrence, nos armateurs ont, plus que jamais, intérêt à faire usage de machines économiques.Dans bien des cas, une légère diminution de la consommation journalière pourrait rendre rémunérateur un navire, auparavant onéreux à son propriétaire. Cela n'est plus à démontrer.

PRINCIPES DU FONCTIONNEMENT

Dans les machines à triple expansion,la vapeur des chaudières est admise à l'intérieur d'un premier cylindre où la période d'admission a lieu pendant une période variant,par exemple,entre les 0,40 et les 0,75 de la course. De là,le fluide se rend dans un cylindre à moyenne pression dont le volume est plus grand que celui du précédent ; il s'y détend comme dans le grand cylindre d'une machine compound ordinaire. Ensuite, la vapeur est envoyée dans un troisième cylindre, de plus forte capacité, où s'opère la détente finale ; enfin il y a échappement au condenseur.

S'il s'agit d'une machine à quadruple expansion, la vapeur qui sort du troisième cylindre s'échappe dans la boîte à tiroir d'un quatrième cylindre avant de se rendre au condenseur. La quintuple ou la sextuple expansion, inusitées jusqu'ici, ne seraient que la généralisation du principe précédent.

Le nombre des cylindres n'est pas forcément égal à celui des cascades. Ainsi, un appareil à triple expansion peut avoir quatre cylindres, la vapeur se détendant simultanément dans les deux derniers.

Certaines de ces machines ont six cylindres ; par exemple, un cylindre d'admission, deux à moyenne pression et trois autres, plus volumineux, à basse pression. On peut aussi disposer deux petits cylindres à haute pression, un second cylindre de première détente et un troisième d'expansion finale. De même, on trouvera des appareils à quadruple détente comprenant de quatre à six cylindres. L'arrangement et le nombre des cylindres sont variables, mais le principe reste toujours le même.

Les appareils à détentes successives peuvent fonctionner, soit

d'après le système Woolf, soit comme compounds à réservoir ; ils peuvent aussi participer à la fois de ces deux systèmes.

Le nombre des manivelles n'est pas non plus invariablement dépendant de celui des cylindres. Les machines à trois cylindres peuvent n'avoir que deux manivelles ; les pistons à haute et à moyenne pression, par simplification, sont montés sur la même tige et actionnent une bielle commune. Il en est de même des appareils à quadruple expansion. Pour fixer les idées nous citerons l'exemple des machines de la *Champagne* qui, bien que comportant six cylindres, n'ont que trois manivelles.

CONSIDÉRATIONS THÉORIQUES

Le rendement thermique d'une machine à vapeur augmente avec la différence des températures de la vapeur à l'entrée et à la sortie du cylindre. La température finale, qui est celle du condenseur, étant sensiblement la même dans les machines bien exécutées, il faut, pour améliorer le rendement, accroître le plus possible la température initiale ou, ce qui revient au même, la pression de la vapeur employée.

Contrairement aux indications de la théorie, la marche n'est pas, en pratique, d'autant plus économique que la pression de la vapeur est plus élevée et la détente plus grande. Comme l'ont bien démontré des expériences récentes, entre autres celles qui ont été faites il y a quelques années au Creusot et qui sont restées comme un modèle du genre, il existe, pour chaque pression, une détente déterminée au-delà de laquelle la consommation de vapeur s'accroît notablement.

Cette proposition est vraie quel que soit le genre de machine considéré, mais dans une mesure variable suivant le système de détente adopté. Nous répéterons à ce sujet ce que nous disions dans notre précédente brochure, la question étant déjà nettement posée à l'époque où elle fut écrite.

Les meilleures machines monocylindres s'écartent, plus que toute autre, du rendement théorique, quand on augmente, au-delà d'une

certaine limite, la pression de la vapeur et le rapport de détente. Ce fait est d'ailleurs connu depuis longtemps sans que l'on s'en soit peut-être à l'origine bien expliqué les causes. On trouvera dans des rapports, datant d'une trentaine d'années, et relatifs aux essais de machines marines, la constatation de ce fait que la consommation de vapeur et de charbon augmentait quand la détente dépassait un certain degré ; les documents français et anglais sont d'accord à ce sujet.

Tout le monde connaît aujourd'hui les raisons de ce phénomène, en apparence paradoxal. La vapeur des chaudières est admise dans le cylindre, immédiatement après que celui-ci vient d'être en communication avec le condenseur pendant une course presque complète. Ce cylindre est donc beaucoup plus froid que la vapeur, laquelle se condense en partie pendant l'introduction, jusqu'à ce que les parois du cylindre se soient échauffées à la température de la vapeur. Dans la réalité, à cause de la vitesse du piston, les parois du cylindre ne passent pas par les températures extrêmes à chaque course ; il s'établit une sorte d'équilibre et la température des parois oscille autour d'une température moyenne. Les condensations à l'admission, qui forment une des principales pertes, augmenteront donc avec les températures ou les pressions, en même temps que le rendement théorique, mais plus vite cependant. Il en résulte que les moteurs à vapeur cessent de donner des résultats économiques satisfaisants quand la pression initiale dépasse une certaine valeur, surtout si l'on accroît proportionnellement le coefficient de détente et si l'on n'a pas recours au seul palliatif possible : l'adoption des expansions successives. Il en résulte que l'on arrivera difficilement à construire des machines monocylindres très économiques, puisqu'elles ne peuvent utiliser convenablement la vapeur dans le cas où celle-ci donnerait la meilleure utilisation calorifique.

Dans la machine compound, au contraire, la contre-pression au petit cylindre n'est pas constante pour tous les appareils, et sa valeur est toujours plus grande que dans le cas précédent, puisqu'elle représente la pression de la vapeur au réservoir intermédiaire, où la tension dépend de causes diverses inhérentes aux conditions de fonctionnement ou d'établissement de la machine.

Pour une même pression initiale, l'écart des températures sera

donc moindre au cylindre à haute pression que dans le cylindre d'une machine monocylindre, et les condensations à l'admission se trouveront diminuées.

Les mêmes phénomènes se reproduiront au grand cylindre, où l'écart de température sera compris entre la température au réservoir et celle du condenseur qui sont sensiblement constantes.

Si maintenant nous augmentons la pression de régime, la détente au petit cylindre et le rapport des cylindres, de telle sorte que les écarts de température se rapprochent de ceux donnés par la machine monocylindre, il se produira encore de fortes condensations initiales : alors,il deviendra nécessaire de créer une nouvelle machine, plus en rapport avec la haute pression de la vapeur et la grande détente : ce sera la machine à triple expansion. Pour les mêmes raisons que celles développées plus haut, les écarts de températures se trouveront réduits dans chaque cylindre, malgré l'accroissement de la pression, et les condensations à l'admission diminueront d'autant. L'utilisation de la vapeur à très haute température initiale se faisant mieux, le moteur aura un meilleur rendement calorifique. Si l'on accroissait encore la pression de la vapeur, il faudrait avoir recours à la machine à quadruple expansion, et ainsi de suite.

Il importe de réduire autant que possible les condensations intérieures qui jouent un rôle si important et si pernicieux dans le fonctionnement des moteurs à vapeur, l'eau condensée venant s'ajouter à l'effet des parois et absorber, au moment de l'introduction, des calories nombreuses qu'elle ne rend pas en totalité pendant la détente, l'excédent étant emporté par cette eau au condenseur.

Les machines à cascades possèdent une autre cause de supériorité, souvent méconnue, bien que son influence soit prédominante. Nous la présenterons sous la forme suivante.

Le *pouvoir condensant*, c'est-à-dire la somme des produits des surfaces refroidissantes de chacun des cylindres d'une de ces machines par les écarts correspondants de température, est moindre que le produit de la surface refroidissante du cylindre d'une machine monocylindre, pour la même puissance, la même pression initiale et la même détente, par la différence des températures extrêmes qui s'y produisent.

Si nous comparons les pouvoirs condensants totaux d'une ma-

chine monocylindre, d'une machine compound et d'une machine à triple expansion fonctionnant à la même pression, avec le même rapport de détente, et développant la même puissance, on trouvera qu'ils sont respectivement entre eux comme 89, 69 et 58, soit pour l'appareil à triple expansion un avantage de 15 0/0 sur la machine compound et de 34 0/0 sur la machine monocylindre. Par une coïncidence intéressante, ces chiffres mesurent précisément l'économie relative, constatée en pratique, de ces trois genres d'appareils.

Les avantages thermiques des machines compound et de leurs dérivées proviennent de la diminution de l'influence des parois, mais, celles-ci subsistant, elles conserveraient encore leur supériorité, grâce à un fait très important et auquel on ne nous paraît pas avoir jusqu'ici accordé la valeur qu'il mérite. Ce fait consiste en ce que la vapeur condensée au petit cylindre agit, après sa réévaporation, sur les pistons des cylindres d'expansion, pendant toute la course, et avec une détente qui lui est propre puisque l'introduction est limitée à une fraction de la course. Avec la machine monocylindre au contraire, la vapeur produite par la réévaporation, pendant l'expansion, dans le cylindre, de l'eau de condensation, ne se détend pas, mais agit simplement comme si elle était fournie à pleine admission, par une chaudière distincte, à la pression correspondante. Ce raisonnement, qui ne repose pas sur des hypothèses, permet seul d'expliquer les résultats économiques qu'ont donnés certaines machines compound et à triple expansion où, pour des raisons particulières, les condensations initiales étaient restées considérables.

Les moteurs à détentes fractionnées présentent encore un avantage important indépendant des actions thermiques. Nous voulons parler de la possibilité qu'ils procurent d'obtenir un grand rapport de détente sans avoir recours à des dispositifs compliqués : à des tiroirs de détente, non plus qu'à des distributions à déclic, lesquelles présentent, dans certains cas, par exemple pour les appareils de navigation, de sérieux inconvénients.

On sait que la coulisse de Stephenson, ainsi du reste que les autres distributions par tiroirs qui passent, souvent à tort, pour plus perfectionnées, ne permettent pas de réduire l'admission au-dessous d'un certain degré sans nécessiter l'emploi d'un tiroir de détente.

Le degré limite d'introduction qu'il est possible de réaliser avec la coulisse est essentiellement variable suivant le genre de machine. Ainsi, l'on ne pourra, dans une machine de bateau, abaisser l'introduction jusqu'à 20 0/0 comme pour une locomotive, et cela pour des causes diverses.

En premier lieu, la locomotive, ayant à accomplir un travail essentiellement variable suivant la charge, le profil, la vitesse qui passe brusquement par ses valeurs extrêmes, possède des cylindres de trop grand volume pour la marche à grande vitesse. On est alors obligé de réduire la période d'admission pour que la chaudière puisse suffire. Dans la machine marine, au contraire, le travail est aussi constant que possible et peut, pendant de longues traversées, ne pas subir de variation notable. De plus, l'effort initial, au moment de la mise en route, loin d'être supérieur à la moyenne, comme dans les locomotives, et d'entraîner à des dimensions trop fortes de cylindres, est relativement minime.

On ne doit pas perdre de vue que le travail développé par une machine marine croît comme le cube des nombres de tours et non comme le nombre de tours, ainsi que dans une machine fixe ou une locomotive (1). C'est là un fait capital qui établit entre les deux genres de moteurs une différence bien tranchée.

La vitesse de rotation n'augmente donc que d'une faible quantité pour un important accroissement de puissance. Le travail maximum correspond toujours, pour une machine marine, à l'admission maximum, ce qui n'a pas lieu pour une locomotive ; en outre, le démarrage est plus rapide ; l'appareil moteur prend immédiatement sa vitesse ; aussitôt le départ, l'admission est définitivement réglée à son degré usuel.

Pendant quelques instants, la vitesse du bateau, ne correspon-

(1) Pour la locomotive, avec une charge *donnée* et en palier, la puissance développée croit un peu plus vite que le nombre de tours, la résistance par tonne de train augmentant avec la vitesse. Soient T et T' les travaux effectués à un nombre de tours N et N' et soient R et R' les résistances correspondantes par tonne, on aura :

$$\frac{T}{T'} = \frac{R}{R'} \times \frac{N}{N'},$$

Où $\frac{R}{R'} > 1$, croît avec la vitesse et par conséquent avec le rapport $\frac{N}{N'}$.

Cette loi n'est plus vraie dès que, pour la même machine, on fait varier la charge ou le profil à de mêmes vitesses correspondantes.

dant pas à celle de la machine, il y a un recul très sensible qui diminue peu à peu jusqu'à sa valeur normale. Dans la locomotive, le patinage, qui correspond au recul; exige une admission supérieure à la moyenne.

Ce que nous venons de dire de la variation du travail suffit à expliquer que le système compound n'ait jamais été reçu avec autant de faveur pour les locomotives que pour les machines marines.

Dans la locomotive, pour laquelle le train agit comme un volant très énergique, les variations des couples moteurs, résultant d'une faible admission, peuvent être, sans inconvénient, beaucoup plus grandes que dans une machine de bateau. Aussi,est-il naturel d'appliquer à ces dernières un mode d'expansion qui permette d'obtenir une grande régularité des couples de rotation. Ajoutons que la vitesse de piston, relativement plus faible, des appareils marins (les machines des torpilleurs exceptées), ne s'accommode pas aussi bien des grandes avances et compressions qui résultent de l'emploi des coulisses pour réaliser de faibles admissions.

En résumé, si l'on y regarde de près, on reconnaîtra que les machines à *n* expansions sont plus économiques parce que la détente y est poussée plus loin et dans des conditions physiques qui rendent cette détente plus efficace.

Ces considérations,que nous venons de développer en faveur des machines à triple et quadruple détente, sont absolument concordantes et justifieraient leur adoption, même à défaut d'avantages d'un autre ordre, mais non moins décisifs, que nous allons examiner.

AVANTAGES PRATIQUES DES MACHINES A EXPANSIONS SUCCESSIVES

On sait combien il importe, dans toutes les machines à vapeur,et particulièrement dans les appareils de navigation, de réduire autant que possible les efforts initiaux sur les arbres afin d'éviter les chances de rupture, de diminuer les frottements des portées dans leurs coussinets et de régulariser la rotation. Les machines compound offraient déjà, à ce point de vue, une grande supériorité sur les machines ordinaires.

Nous allons voir que les machines à triple détente et,à plus forte raison, à quadruple expansion, satisfont mieux encore à ces conditions. En effet, pour une pression de régime identique, la surface du petit piston sera plus faible et celle du grand sensiblement la même que dans une machine compound, de puissance égale. Le piston intermédiaire, actionnant une manivelle qui fait un angle déterminé avec les deux premières, contribuera, pendant la plus grande partie d'une révolution, à soulager l'arbre et ses coussinets des poussées dues aux autres pistons. Les efforts initiaux seront eux-mêmes bien diminués, partagés qu'ils sont entre trois pistons plus petits. Par conséquent, les pressions maxima sur chacun de ces pistons étant moindres et ne se correspondant pas, puisque ces pistons commandent des coudes à 120° par exemple, les efforts qu'ils exercent s'équilibrent parfaitement au profit de la régularité.

En outre, pour un même rapport de détente, la pression moyenne sur chaque piston passe par de moindres variations pendant toute la durée de la course,puisque le coefficient d'admission est plus grand : environ 0,60 à 0,65 au cyl. HP pour un appareil à triple expansion, et 0,75 ou 0,80 pour une machine à quadruple détente.

Nous avions donné, dans notre brochure primitive, les calculs comparatifs entre les efforts initiaux dans une machine à triple expansion et dans un appareil compound à trois cylindres, dont deux de détente ; toutes les conditions de fonctionnement : pression,vide au condenseur, puissance indiquée, étant les mêmes dans les deux cas, rappelons-en les résultats.

La poussée moyenne effective sur le piston à haute pression est, pour la machine à triple effet, les 0,60 de ce qu'elle est pour la machine compound ordinaire ; ces mêmes poussées initiales, sur les deux autres pistons, sont respectivement, dans le premier cas, les 0,63 et les 0,90 de celle qui est exercée sur chacun des pistons à basse pression de la machine compound.

En outre, le rapport de la pression moyenne effective à la pression initiale effective, dans le cylindre à haute pression est, pour le premier exemple, de 0,847, pour le second, de 0,648.

Si l'on se reporte maintenant à la fig. 1 qui représente graphiquement les moments moteurs sur l'arbre d'une machine à triple

triple expansion à trois cylindres et à deux manivelles, on constatera que les efforts de torsion sont mieux répartis et plus réguliers que dans une machine compound. Encore faut-il tenir compte de ce fait que les machines à deux manivelles ont une infériorité marquée sous le rapport de la régularité des efforts, par comparaison avec les machines à trois manivelles. Il importe aussi de remarquer que, par simplification, on n'a pas tenu compte, dans le tracé, de l'inertie des pièces en mouvement dont l'effet serait de réduire l'ef-

Steamer « Isle of Dursey »

Courbes des moments moteurs.

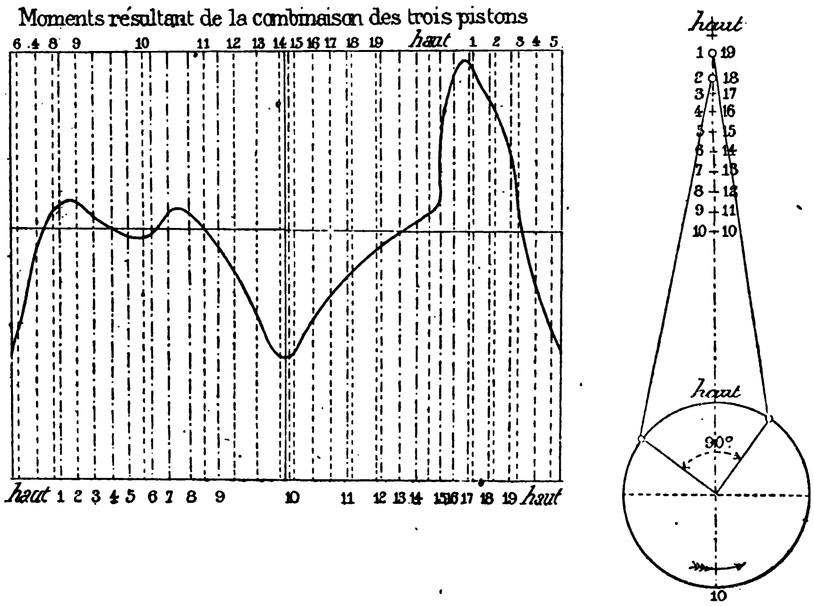


Fig. 1.

fort au commencement de la course pour l'augmenter vers la fin. Constatons aussi que, dans la machine prise comme exemple, les pompes à air, de circulation, de cale et d'alimentation, sont menées par un balancier directement attelé sur la tige commune à haute et moyenne pression. Comme les courbes représentatives des moments ont été calculées d'après les diagrammes, il en résulte que les efforts transmis à l'arbre, par la bielle correspondante, sont moindres que ceux indiqués sur les figures, de la quantité absorbée

par les pompes, circonstance qui tend encore à égaliser les couples de rotation.

On s'est livré, à une certaine époque, à des calculs savants pour la détermination de l'angle de calage des manivelles dans les machines compound et Woolf à trois manivelles. Pour les appareils à triple expansion, le doute ne peut exister.

Il convient d'abord de porter à trois le nombre des manivelles. Les frottements de l'arbre sur ses coussinets sont moindres, car les couples s'équilibrent mieux ; les efforts initiaux et les chances de ruptures sont bien diminués. En outre, cette disposition rend la machine plus maniable et l'on peut facilement marcher à vitesse réduite, ce qui peut être avantageux pour manœuvrer dans un chenal fréquenté, ou à l'entrée d'un bassin. L'angle le plus favorable, dans ce cas, pour les manivelles est, sans contredit, de 120°, quelque soit le nombre des cylindres commandant les trois vilbrequins.

Aujourd'hui qu'il existe un certain nombre de distributions radiales permettant de placer, sans complication, les tiroirs sur le côté des cylindres, on ne doit plus repousser le dispositif à trois manivelles en prétextant la grande longueur qu'il nécessite, puisqu'on peut amener les trois cylindres à se toucher.

TABLEAU N° I

Répartition de la puissance et des efforts initiaux sur les différents pistons des quelques machines à triple expansion.

NOMS DES BATIMENTS		PARA	AFRICAN	ANGLIAN Compound	ANGLIAN Transformé en triple expansion	LUSITANIA	STELLA (1)	METEOR
Pression de régime.		10^{k}23	10^{k}30	3^{k}40	10^{k}20	8^{k}75	8^{k}75	10^{k}20
Rapport des cylindres	ω....	3 54	2 69	»	2 68	»	»	2 24
	ω''...	8 34	7 37	3.10	7 02	»	»	2 54
Puissance indiquée en let.	HP..	201	378	537	538	1113	291	662
	MP..	213	364	»	523	1352	331	507
	BP..	206	345	528	514	1167	310	825
	Total.	620	1087	1065	1575	3632	932	1994
		kil.	kil	kil.	kil.	kil.	kil.	
Poussée initiale sur les pistons.	HP..	12375	15894	29700	23760	37860	14625	»
	MP..	17880	16470	»	25875	55980	17680	»
	BP..	13900	15230	31140	22725	43200	16875	»
Nombre de tours....		62	85.5	58	69	76	61.5	71

(1) Dans cette machine, les moments moteurs combinés donnent une courbe dont les variations maxima sont de 17 0/0 au-dessus et 30 0/0 en dessous de la moyenne. — Trois cylindres et trois manivelles.

PRESSIONS USUELLES ET NOMBRE CORRESPONDANT DE CASCADES

Nous avons vu que l'emploi des détentes successives présentait une meilleure utilisation de la vapeur à haute pression et assurait par là un rendement thermique supérieur. Grâce aux résultats économiques qui en découlent, l'emploi des tensions élevées entraîne, pour les chaudières, une diminution de volume et souvent de poids, malgré l'excédent d'épaisseur à donner aux tôles.

Les inconvénients pratiques des hautes pressions ne sont pas, à beaucoup près, aussi nombreux ni sérieux que bien des esprits timorés l'avaient fait craindre au début. Les machines à triple expansion construites récemment fonctionnent toutes à une pression minimum de 10 k. 50 ; le plus souvent, les chaudières sont timbrées entre 11 et 12 kil., quelquefois à 13 kil. Il va sans dire que l'adoption de semblables pressions a apporté de profondes modifications dans la construction des machines et des chaudières marines.

Nous avons établi plus haut que, pour obtenir un bon rendement calorifique, le nombre des cascades ou des expansions opérées dans des cylindres distincts, devait augmenter avec la pression de la vapeur employée, dans des limites qu'il est impossible de déterminer exactement, mais que l'on peut estimer avec une approximation suffisante pour les besoins de la pratique. C'est ainsi que l'on peut attribuer, aux différents systèmes de machines à vapeur, les pressions maxima de régime que nous avons consignées ci-dessous, et au delà desquelles l'utilisation décroît certainement.

Machines monocylindres perfectionnées.		4 k.	50
Machines compound simples		6	50
id.	à triple expansion.	10	00
id.	à quadruple expansion	15	00

Il s'agit ici bien entendu de machines à condensation seulement ; dans le cas contraire on devra augmenter les pressions ci-dessus de 1 kil. 50 environ.

Ces chiffres pourront sembler arbitraires car leur détermination ne repose sur aucun calcul précis. Ils s'écartent cependant très peu de la réalité et la plupart des ingénieurs familiarisés avec le fonctionnement des machines à cascades sont d'accord à ce sujet.

En vertu de tout ce qui a été dit précédemment, il est facile de comprendre que c'est méconnaître en partie les propriétés du principe compound que d'adopter pour les machines auxquelles ce système est appliqué, de faibles introductions au petit cylindre ; une admission de 0,60 devrait être le minimum. Si en effet on diminue par trop la durée de l'admission, le fonctionnement se rapproche de celui d'une machine monocylindre et les écarts de température deviennent trop grands. Cette condition entraîne la nécessité d'accroître le rapport de volume du *petit* au *grand* cylindre, tandis que, pour réduire les écarts de températures dans les cylindres intermédiaires, on est amené à fractionner la détente en un plus grand nombre de cascades.

On ne saurait raisonnablement reprocher aux machines à détentes successives de nécessiter l'usage de cylindres multiples et d'entraîner une complication mécanique, du moins dans les limites actuelles, puisque l'emploi d'un nombre au moins égal de cylindres a paru nécessaire pour certaines machines compound simples. Beaucoup de ces dernières n'ont-elles pas trois cylindres ou plus, nombre suffisant pour l'établissement d'une machine à triple expansion. Il ne faut pas oublier que certains paquebots sont munis de machines compound tandem comprenant quatre pistons, ni que *la Normandie* et le *City of Rome* en ont six (trois machines Woolf accouplées) L'appareil compound du croiseur français le *Milan* comporte huit cylindres ; celui du cuirassé *Italia* en possède douze.

PROPORTIONS DES CYLINDRES ET RAPPORTS DE LEURS VOLUMES.

La détermination du rapport le plus convenable entre les différents cylindres a été une source inépuisable de discussions et de recherches.

Le but que l'on doit se proposer, quand on cherche à établir ce rapport, est d'égaliser autant que possible le travail et les écarts de températures dans les différents cylindres, et de réduire au minimum la chute de pression dans le réservoir. Il est certain que, même si le rapport n'est pas convenablement déterminé, on peut y remédier, aux deux points de vue que nous venons de mentionner, par une modification des introductions, mais cela pourrait se faire aux dépens d'autres conditions, et il est préférable de se rapprocher du fonctionnement désirable avec le degré normal d'admission. Il est impossible de donner à cet égard de formule permettant de déterminer *a priori* le rapport le plus avantageux pour une pression et une puissance déterminées. La seule chose que l'on puisse conseiller, aux personnes qu'une règle empirique ne contenterait pas, consiste à tracer les diagrammes prévus totalisés, avec les admissions qui leur paraîtront les plus convenables ; puis, de vérifier si l'on obtient ainsi une égale répartition de la puissance.

Ce rapport dépend évidemment du degré de détente que l'on veut réaliser, puisque, si l'on ne tient pas compte des espaces morts, le coefficient de détente est égal au quotient du rapport total des volumes par l'introduction au petit cylindre évaluée en fonction de la course. Si, par exemple, le rapport total des cylindres est de 6, et si l'admission au cylindre HP est de 0,60, le rapport total de détente est de $\frac{6}{0,60} = 10$. Il s'agit ici bien entendu du rapport entre le petit et le grand cylindre, les rapports entre les autres cylindres n'intervenant pas et n'ayant aucune influence sur le degré total d'expansion. Ces rapports partiels ne doivent être déterminés qu'en vue de réaliser la répartition du travail aussi également que possible dans chaque cylindre. Leur produit est égal au rapport existant entre les deux cylindres extrêmes.

Il ne faut pas attribuer une importance excessive aux chutes de pression dans les réservoirs, il vaut mieux s'attacher à en négliger l'influence et assurer la répartition la plus égale de puissance qui soit possible. Ces chutes de pression ne constituent en effet qu'une perte relative dans la surface du diagramme, et n'entraîne aucune déperdition de chaleur. Il y a seulement une transformation d'énergie, la diminution de pression mettant en liberté un certain nombre

de calories qui sont employées à réévaporer l'eau provenant de la condensation de la vapeur dans le cylindre précédent ou dans le réservoir considéré.

D'autre part, si on se rapporte à la figure 2, on voit que si l'on

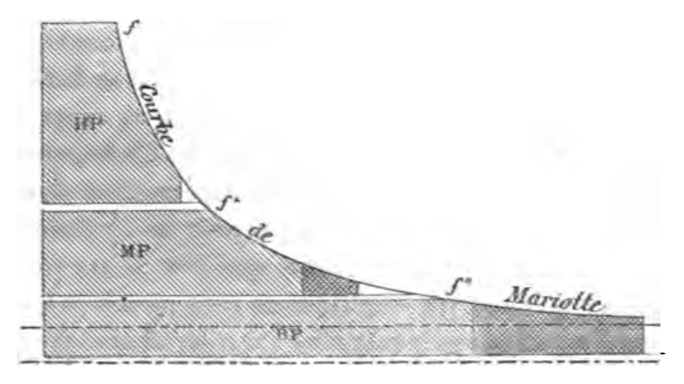


Fig. 2.

Diagramme théorique servant à démontrer l'impossibilité d'égaliser les travaux aux différents cylindres, si on s'attache à utiliser la plus grande partie de la surface du diagramme totalisé.

détermine les volumes du cylindre et les introductions de manière à utiliser une plus grande fraction du diagramme théorique, on est amené à effectuer des introductions, trop faibles dans le petit cylindre, ce qui entraîne de plus grandes chutes de températures, et trop grandes dans le cylindre de détente finale. En outre,on ne pourrait arriver à égaliser les travaux qu'en admettant au moins à 0,95 dans le grand cylindre, ce qui est inadmissible. Une machine ainsi conçue serait moins économique, bien que donnant une meilleure utilisation *géométrique*. Pour éviter cet inconvénient, il faudrait augmenter le nombre des échelons de détente et adopter par exemple la sextuple expansion, mais alors la somme des chutes de pression dans les cinq réservoirs serait probablement au moins égale à celle d'une machine à triple expansion et, pour satisfaire à un principe stérile, on compliquerait singulièrement la machine.

On trouvera dans le tableau suivant les différents rapports de cylindres adoptés par un grand nombre de constructeurs. On verra, d'après les chiffres du tableau, qu'il n'existe pas de règle précise et que les proportions des cylindres varient dans une assez large me-

sure suivant l'appréciation des ingénieurs. Nous devrons seulement constater que, dans la plupart des cas, le rapport des deux premiers cylindres dans les machines à triple expansion, est généralement inférieur à celui des deux derniers.

On remarquera aussi que le rapport total des cylindres est plus petit pour les appareils des navires de guerre que pour les machines des paquebots et des bâtiments du commerce. On sacrifie en effet, dans les premiers, une faible partie de l'économie, due à une très grande détente, à l'avantage que présentent un poids et un encombrement réduits.

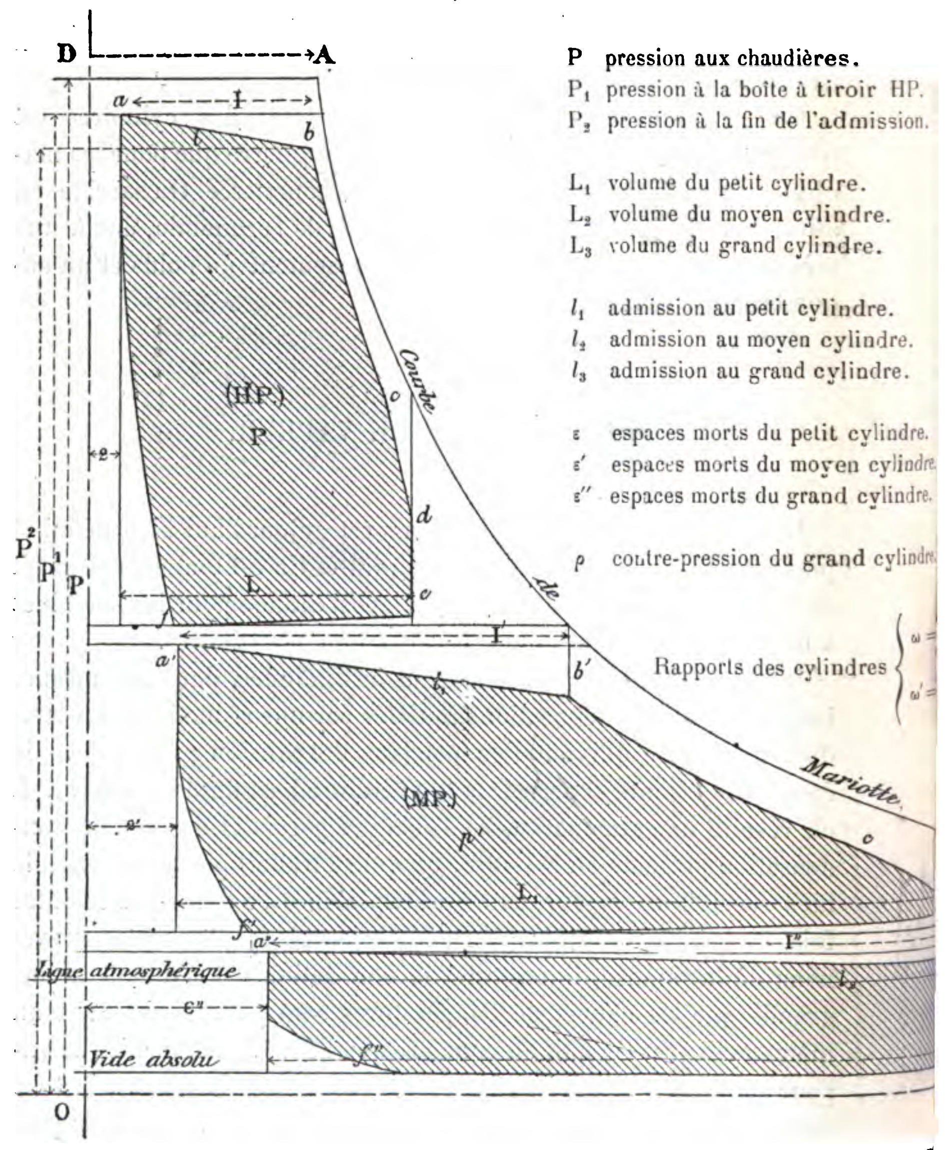
ENVELOPPES DE VAPEUR

Le rôle des enveloppes de vapeur est aujourd'hui bien défini et personne ne songe à contester leur utilité. On est toutefois en droit de se demander si leur influence est aussi grande pour les machines à détentes successives que pour celles à monocylindres.

L'effet de l'enveloppe est surtout de diminuer, dans une mesure importante, les condensations initiales par une réduction des écarts de température qui ont lieu pendant l'expansion ; elle relève la courbe de détente et accroît la température à la fin de la course. Il en résulte une atténuation de l'effet des parois et de l'eau de condensation présente au cylindre, ce qui se traduit par une économie bien sensible de vapeur, comme l'expérience l'a démontré maintes fois. De la définition même du rôle de l'enveloppe, telle que nous venons de la donner, il ressort que son action est d'autant moins grande que les chutes de températures sont plus faibles dans un même cylindre. On doit en conclure que l'effet de la chemise de vapeur diminue à mesure que la détente est successivement effectuée dans un plus grand nombre de cylindres ; elle se trouve donc plus nécessaire pour une machine monocylindre que dans un appareil compound, pour ces derniers, que dans une machine à triple expansion, et ainsi de suite.

En ce qui concerne les appareils de navigation, l'usage à peu près général d'une chemise intérieure en fonte dure facilite l'installation

(Fig. 3). — **DIAGRAMMES**



(1) En tenant compte des espaces

$$z = \frac{L_1}{I}$$

i étant l'introduction ou cyl. HP en

ALISÉS (triple expansion).

P_m pression moyenne au petit cylindre.
P'_m pression moyenne au moyen cylindre.
P''_m pression moyenne au grand cylindre.

Pression moyenne donnée par la courbe ABCOD :

$$\pi = P \frac{AD}{CO} \left(1 + 2.3 \log. \frac{CO}{AD}\right)$$

Ordonnée moyenne totalisée réelle :

$$\frac{\rho m}{\omega} + \frac{\rho' m}{\omega'} + \rho'' m = \pi'$$

Le coefficient de rendement est :

$$\rho = \frac{\pi'}{\pi} \text{ variant de } 0.50 \text{ à } 0.65.$$

$$\omega'' = \frac{L_2}{L} = \omega \times \omega'$$

Le coëfficient de détente est :

$$z = \frac{L_2 + \varepsilon''}{I + \varepsilon} \qquad (1)$$

s, autrement ce serait :

$$\times \frac{1}{i} = \frac{\omega''}{i}$$

), soit $\frac{I}{L}$.

des enveloppes de vapeur sans une grande complication. Néanmoins, on voit que l'on peut s'en passer sans inconvénients quand les circonstances l'exigent, si l'on recherche par exemple une grande légéreté, comme dans les appareils de torpilleurs.

L'opinion des ingénieurs est partagée sur la question de savoir auquel des cylindres d'une machine à cascades il convient surtout d'appliquer l'enveloppe. Il est en réalité assez difficile de se prononcer. Il semble au premier abord que le petit cylindre se prête mieux que tout autre à l'application d'une chemise de vapeur qui aurait pour effet de réduire la proportion d'eau condensée pendant l'introduction. Si, d'autre part, on se rappelle ce que nous avons dit plus haut, à savoir que l'eau de condensation se réévapore aux cylindres de détente, on sera tenté d'attribuer à l'enveloppe une plus grande influence dans les derniers cylindres de la série et surtout au grand; on aurait alors plus d'intérêt à réchauffer celui-ci afin de faciliter cette réévaporation. D'autre part, quand le travail est également réparti sur les pistons, l'écart de température est généralement d'autant plus grand que l'on considère un cylindre plus éloigné du cylindre admetteur.

Quoi qu'il en soit, le plus grand nombre des ingénieurs préfère chemiser le petit cylindre.

N'omettons pas de rappeler, avant d'abandonner ce sujet, que la vitesse du piston a une importance considérable sur l'action des enveloppes de vapeur et que ces dernières sont à peu près inutiles dans les appareils à allure très rapide.

DÉTERMINATION DES DIAGRAMMES PRÉVUS

Calcul de la puissance

Il n'existe pas de formule qui permette de calculer *a priori* avec une approximation suffisante les pressions moyennes dans chaque cylindre, sans avoir recours à un tracé graphique.

On connaît aujourd'hui un assez grand nombre de procédés pour l'établissement des diagrammes prévus; malheureusement quelques-

uns, établis en vue de tenir compte d'un grand nombre d'éléments, présentent une complication excessive. Il ne nous appartient pas de faire connaître des formules qui appartiennent en propre à certains constructeurs. Nous nous bornerons à rappeler la méthode générale, très simple, qui permet de calculer les principaux éléments des machines à triple et à quadruple expansion. Elle tient compte des espaces morts d'une manière très approchée, mais ne peut servir à calculer les rapports des différents cylindres de manière à égaliser d'une manière parfaite les travaux ou les écarts de température ; il faut au contraire se donner ces rapports et en déduire le volume des différents cylindres en fonction de la pression, de la puissance et des différents éléments connus. Grâce au nombre d'appareils existant aujourd'hui, cette méthode ne présente pas de difficultés et peut être d'un secours précieux pour l'étude d'un avant-projet.

Pour voir clair dans le fonctionnement des machines à détentes étagées, il faut toujours se reporter, du moins par la pensée, au diagramme *totalisé*.

On appelle ainsi la courbe représentative de la détente, tracée suivant la loi de Mariotte, qui est pratiquement exacte, et sur laquelle on porte, en abscisses, les volumes des cylindres et les espaces morts à une échelle déterminée (fig. 3). Dans le cas qui nous occupe, il est inutile de tracer ce diagramme, nous n'en parlons que pour plus de clarté.

On sait que la valeur de l'ordonnée théorique est donnée par la formule $P = P_0 \frac{\alpha}{m} \left(1 + L \frac{m}{\alpha}\right)$ où P_0 est la pression de régime absolue, m le rapport total du volume des cylindres, α le coefficient d'introduction au cylindre HP.

S'il s'agit d'une machine à cascades, l'ordonnée moyenne totalisée réelle ne sera qu'une fraction de la précédente en raison des pertes dues aux espaces morts et aux chutes de pression dans les réservoirs ou à travers les conduites. Il faudra donc frapper la pression moyenne théorique d'un coefficient plus petit que l'unité, coefficient que l'on connaît aujourd'hui pour les différents cas avec une approximation suffisante.

Un exemple fera, mieux qu'une longue explication, comprendre la manière de procéder.

Supposons que l'on veuille déterminer les dimensions des cylindres

d'une machine à triple expansion fonctionnant à 9 kil. et devant développer 1000 chevaux à 80 tours.

Si nous consultons le tableau n° 2 nous verrons que le rapport des volumes, entre le petit et le grand cylindre, qui convient dans ce cas, est de 6 avec une admission au premier cylindre de 0,60. Le coefficient de détente sera donc de $\frac{6}{0,60} = 10$.

On aura alors pour valeur théorique de la pression moyenne totalisée, ou rapportée sur le grand piston :

$$P = 10 \times \frac{0.60}{6}\left(1 + 2.3 \log \frac{6}{0.60}\right) = 3 \text{ k. } 300.$$

Reportons-nous maintenant au tableau n° 2 ; nous reconnaîtrons que, dans le cas qui nous occupe, le coefficient de rendement, lequel n'est autre que le quotient de l'ordonnée réelle par l'ordonnée théorique, est de 0,60 ; la pression moyenne utilisable sera alors :

$$P' = 0,60 \times 3 \text{ k. } 30 = 1 \text{ k. } 98.$$

Il ne reste plus qu'à calculer le diamètre du grand cylindre de telle sorte qu'il puisse développer la puissance désirée, son ordonnée moyenne étant de 1 k. 98. Soit d_3 ce diamètre.

Pour rester dans les proportions usuelles des machines marines du commerce, admettons que la course commune aux trois pistons soit égale aux 0,70 du diamètre du grand cylindre. D'après la formule : $3,49, d^2 .c. n. P' = T$ puissance en chevaux, il vient :

$$d_3 = \sqrt[3]{\frac{1000}{3.49 \times 0.70 \times 80 \times 1.98}}$$

$$d_3 = 1^m,370$$

La course sera $c = 1^m,370 \times 0,70 = 0^m,960$.

Le tableau n° 1 nous donne comme rapport de volume entre les cylindres, 2,20 du premier au second et 2,73 du second au troisième. Les diamètres des cylindres seront alors :

$$d_1 = \sqrt{\frac{d_3^2}{6}} = 0^m560$$

$$d_2 = \sqrt{2.20 \times \overline{0.56}^2} = 0^m830.$$

Nous avons ainsi déterminé les dimensions des principaux éléments de la machine qui nous occupe, à savoir :

Diamètre du cylindre HP . . .	0m.560
Diamètre du cylindre MP . . .	0m.830
Diamètre du cylindre BP . . .	1m.370
Course des pistons.	0m.960

C'est ici que doit intervenir le tracé dont nous avons parlé plus haut afin de reconnaître si les proportions des trois cylindres sont convenablement choisies, en ce qui concerne l'égalité des travaux. Dans le cas contraire, on devrait modifier le rapport du premier au second cylindre et procéder par tâtonnements. Il ne faudrait diminuer ou accroître le diamètre du grand cylindre que dans le cas, fort peu probable, où le calcul de la pression moyenne totalisée d'après le diagramme prévu tracé à l'aide des procédés empiriques signalés plus haut en démontrait la nécessité.

Quoi qu'il en soit, la méthode générale que nous venons d'indiquer doit toujours précéder une étude plus approfondie et peut suffire à la rigueur si l'on dispose d'un nombre d'exemples permettant de choisir judicieusement les différents coefficients. C'est surtout dans ce but que nous avons publié les tableaux n°s 2 et 3.

Rappelons que, dans le choix du rapport total des cylindres, on ne doit pas se laisser guider uniquement par le désir d'accroître le degré de détente, mais qu'il est d'autres questions, d'un ordre pratique, telles que le poids ou l'emplacement disponible, qui doivent entrer en ligne de compte.

De même, on devra s'attacher, pour le fonctionnement normal, à ne pas fixer les introductions au petit cylindre à moins de 0,60 et de 0,75, suivant qu'il s'agira d'appareils à triple ou à quadruple détente.

TABLEAU

Dimensions principales des machines

DÉSIGNATION DE LA MACHINE.	NOMS DES CONSTRUCTEURS.	Année de la construction.	Nombre de cylindres	Pression aux chaudières	Diamètre des cylindres H. P.	Diamètre des cylindres M. P.
Triple expansion						
Aberdeen	Napier et Son	1881	3	8k78	0m762	1m143
Draco	Earles Co	1882	3	10.54	0.533	0.812
Oaxaca	Napier et Son	1883	3	9.50	1.016	1.625
Matabele	»	»	3	10.54	0.483	0.762
Coot	»	»	3	10.54	0.495	0.825
Isle of Dursey	Walsend Co	»	3	10.54	0.399	0.558
Hidalgo	Amos et Smith	»	3	10.54	0.558	0.812
Bassano	»	»	3	10.54	0.533	0.889
Australasian	Napier et Son	1884	3	8.75	0.813	1.168
Arabian	»	»	4	10.54	2 de 0.230	0.457
Martello	Earles Co	»	3	10.54	0.787	1.270
Algoma	Richardson	1885	3	9.98	0.660	1.066
Ariel	Earles Co	»	3	10 54	0.583	0.889
Barco	Denny	»	3	11.25	0.635	1.041
Bradley	N. C. Marine Co	»	3	10.54	0.330	0.482
Burrumbeet	Walsend Co	»	3	10.54	0.584	0.831
Coromandel	Caird et Co	»	3	10.20	0.889	1.422
Dragoman	Walsend Co	»	3	10.54	0.609	0.990
Editor	Blair et Co	»	3	11.25	0.508	0.817
Enfield	C. M. E. Co	»	3	11.25	0.533	0.889
General Gordon	Stephen et Son	»	3	11.25	0.381	0.610
Norkoowa	Black et Co	»	3	10.54	0.508	0.837
Seagull	Hull, Russel Co	»	4	10.54	2 de 0.483	1.016
Suez	Blair et Co	»	3	11.25	0.533	0.889
Cleveland	C. M. E. Co	1886	3	10.54	»	»
Gloamin	Hall, Russel Co	»	3	11.75	0.483	0.762
Orizaba	Barrow	»	3	9.84	1.016	1.676

N° 2

à triple et quadruple expansion.

Diamètre des cylindres B. P.	Course	Rapport des cylindres: Premier au second.	Second au troisième	Total	Rapport de détente à 0,60 d'admission.	Nombre de tours	Puissance indiquée	Surface de chauffe.
							chevaux	m²
1m778	1m372	2.58	2.20	5.48	9.13	»	»	»
1.442	0.914	2.32	3.18	7.38	12.30	85 (?)	1060	275.00
2.366	1.524	2.55	2.08	5.31	8.85	62	4100	1150.00
1.270	0.850	2.50	2.77	6.92	11.53	70	800 (?)	230.00
1.350	0.945	2.83	2.67	7.56	12.60	70	1200 (?)	365.00
1.117	0.838	1.94	4.02	7.80	13.00	74	617	153.28
1.524	0.837	1.93	3.80	7.36	12.28	85	1250 (?)	360.00
1.697	0.914	2.73	3.65	10.20	17.00	»	»	»
1.778	1.371	2.08	2.30	4.80	8.00	65	2630	1055.00
0.812	0.558	1.99	3.15	6.23	10.38	»	»	»
2.083	1.448	2.61	2.67	6.98	11.63	75 (?)	2200 (?)	520.00
1.676	1.066	2.55	2.51	6.40	10.66	75	2000	560.00
1.524	1.467	2.36	2.91	6.88	11.46	75	1900	470.00
1.727	1.218	2.53	2.96	7.48	12.46	»	»	»
0.889	0.609	2.11	3.44	7.29	12.15	»	»	»
1.524	1.066	2.03	3.34	6.88	11.46	»	»	»
2.200	1.676	2.68	2.40	6.44	10.70	64	4200	1176.00
1.625	1.066	2.63	2.68	7.06	11.83	65 (?)	1300	380.00
1.372	0.914	2.58	2.79	7.20	12.00	»	»	»
1.447	0.990	2.78	2.65	7.38	12.30	70	1100	320.00
1.016	0.914	2.52	2.79	7.05	11.75	»	»	»
1.346	0.914	2.68	2.58	6.52	11.53	70	850 (?)	245.00
1.536	1.228	2.19	2.28	5.00	8.33	»	»	»
1.448	0.991	2.78	2.65	7.38	12.30	70	1100	320
»	»	2.78	2.65	»	»	70	1100	320
1.270	1.066	2.47	2.77	6.86	11.44	»	»	»
2.540	1.829	2.74	2.29	6.26	10.43	»	»	»

TABLEAU

Dimensions principales des machines

DÉSIGNATION DE LA MACHINE.	NOMS DES CONSTRUCTEURS.	Année de la construction.	Nombre de cylindres.	Pression aux chaudières.	Diamètre des cylindres H. P.	Diamètre des cylindres M. P.
Nulli Seconda.......	Doxford	1886	3	10.54	0.863	1.422
Paumbeen.......	Mac Millan	»	3	11k25	0m457	0m762
Roseland.......	Cox et Co	»	3	10.54	0.152	0.229
Warrior........	Bayley	»	3	10.54	0.408	0.610
X............	Shanks et Co	1887	3	10.54	0.250	0.375
Flamboro.......	Palmer	»	3	10.54	0.550	0.875
Orlando (Mar. Mil.) .	do	»	2×3	9.14	2(0.914	1.320
Pretoria........	»	»	3	10.54	0.840	1.332
Anglia.........	Henderson	»	3	10.65	0.610	1.016
Courier........	Hawthorn	»	3	10 54	0.762	1.168
Iolanthe.......	Welch et Co	»	3	11.30	0.082	0.120
Moor...........	Richardson	»	3	11.30	0.863	1.422
Maine..........	C. M. Eng. Co	»	3	11.30	0.621	1.016
Tyneside.......	Laird	»	3	11.30	0.723	1.168
Rattlesnake (Mar. Mil)	de Schelde	»	2×3	9.60	2(0.470	0.688
Ceram..........	Hawthorn	»	3	8.50	0.508	0.736
Magicienne (Mar. Mil)	»	»	2×3	10.54	2(0.804	1.295
Pallas.........	Marshall	»	3	11.25	0.610	1.016
Machine demi-fixe..	»	»	3	12.30	0.130	0.228
Lahn...........	»	»	4	10.54	0.825	1.727
Aller..........	»	»	3	10.54	1.118	1.778
Ormuz..........	»	»	3	10.54	1.168	1.854
Para...........	»	»	3	10.54	0.483	0.884
African........	»	»	3	10.54	0.533	0.875
Anglian........	»	»	3	10.54	0.660	1.067
Isa............	»	»	3	9.84	0.254	0.406

N° 2 (Suite).

à triple et quadruple expansion.

Diamètre des cylindres B. P.	Course.	Rapport des cylindres			Rapport de détente à 0,60 d'admission.	Nombre de tours.	Puissance indiquée.	Surface de chauffe.
		Premier au second.	Second au troisième.	Total.			chevaux	m²
2m286	1m524	2.84	2.60	7.38	12.30	62	4000	1059.00
1.219	0.914	2.78	2.53	7.13	11.88	74	900	260.00
0.406	0.305	2.37	3.13	7.13	11.88	»	»	»
1.016	0.610	2 23	2.80	6.25	10.41	»	800 (?)	230.00 (?)
0.600	0.450	2.25	2.57	5.80	9 66	»	200	52.00
1.450	1.050	2.53	2.74	6.76	11.60	82	1100 (?)	250.00 (?)
1.981)	1.067	2.08	2.21	4.60	7.66	»	8622 (tirag. forcé)	1486.00
2.184	1.371	2.50	2.70	6.75	11.25	70	2400	790.00
1.676	1.219	2.78	2.71	7.53	12 56	73.5	2101	456.60
1.854	0.914	2.36	2.49	5.87	9.78	124	2979 (tirag. forcé)	475.23
0.165	0.927	2.35	1.80	4.05	6.75	360	13	»
2.286	1.524	2.72	2.60	7.07	11.78	70	4532	1087.70
1.650	1.067	2.70	2.60	7.06	11.77	65	1600	430.00
1.905	1.067	2.61	2.63	6.85	11.41	63	2250	590.00
1.067)	0.457	2.14	2.42	5.78	8.63	309	2800	380.00
1.268	0.686	2.90	2.49	7.25	12.08	132	728	19.60
1.954	0.914)	2.54	2.26	9.74	9.57	150	9000	11.05
1.676	1.219	2.67	2.71	7.48	12.46	70	2512	754.00
0.393	0.356	2.53	2.97	7.51	12.52	150	40	45.00
2 de 2.159	1.829	4.38	3.12	»	»	60 (?)	9500	2700.00
2.540	1.829	2.52	2.03	5.11	8.60	60 (?)	7974	2102.00
2.845	1.829	2.49	2.39	5.95	9.91	58	9000	2450.00
1.345	0.838	3.54	2.30	8.14	13.56	62	620	1850.00
1.447	0.914	2.69	2.44	7.37	12.28	85.5	1086	330.00
1.753	1.067	2.63	2.67	7.02	11.70	69	1970	500.00
0.711	0.610	2.55	3.06	7.80	13.00	»	»	»

3

TABLEAU

Dimensions principales des machines

DÉSIGNATION DE LA MACHINE.	NOMS DES CONSTRUCTEURS	Année de la construction.	Nombre de cylindres	Pression aux chaudières.	Diamètre des cylindres H. P.	Diamètre des cylindres M. P.
Ohio	»	1887	3	10k54	0.788	1.169
Stuns	English et Co	1888	3	10.54	0.330	0.533
Collingham	N. E. M. Co	»	3	10.54	0.583	0.939
Ormea	Ardrossan Co	»	3	11.25	0.254	0.418
Magpie (Mar. Mil.)	Earles Co	»	3	10.00	0.508	0.762
Brandenburg	Rollox et Co	»	3	10.54	0.584	0.934
Benmore	N. E. M. Co	»	3	10.54	0.508	0.838
Piemonte (Mar. Mil.)	Humphrys	»	2×3	10.70	2(0,914	1.396
Lyonnesse	Harvey et Co	»	3	10.54	0.560	0.813
Leconfield	Schesinger	»	3	11.25	0.533	0.838
Reindeer	Craigg et Co	»	3	10.54	0.508	0.838
Australia, Galatea (Mar. mil.)	Napier	»	2×3	9.80	2(0.888	1.294
Legislator	Clark	»	3	10.54	0.610	1.016
Abertay	»	»	3	11.25	0.432	0.686
Islander	»	»	2×3	10.54	2(0.508	0.787
X	Napier	»	3	11.25	0.685	1.016
Kaveri	Whitehaven Co	»	3	11.25	0.436	0.660
Lady Brassey	Scott	»	3	11.25	0.254	0.457
Enrique Barrozzo	Hutson, Carbett	»	3	10.54	0.432	0.610
Adironduck	Thomson	»	3	11.25	0.635	1.041
Strathblane	»	»	3	11.25	0.571	0.889
Elisabeta	Marshall	»	3	10.54	0.660	1.016
Machine fixe	Cole, Merchant	»	3	10.54	0.210	0.336
Argus	»	»	3	10.54	0.291	0.445
Alphonso XII	Richardson	»	3	10.54	0.863	1.397
Meteor	Thomson	»	3	9.80	0.746	1.118

N° 2 (Suite).

à triple et quadruple expansion.

Diamètre des cylindres B. P.	Course.	RAPPORT DES CYLINDRES			Rapport de détente à 0,60 d'admission.	Nombre de tours.	Puissance indiquée.	Surface de chauffe.
		Premier au second.	Second au troisième.	TOTAL.				
							chevaux	m²
1.828	1.275	2.20	2.50	5.50	9.16	72	2124	472.07
0.889	0.610	2.62	2.78	7.28	12.14	120	414	124.00
1.549	1.067	2.57	2.72	7.04	11.70	86	1500	400.00
0.686	0.560	2.70	2.68	7,24	12.04	150	650	170.50
1.142	0.610	2.24	2.23	5.00	8.33	»	882-1298	176.00
1.500	1.067	2.55	2.58	6.58	10.76	85	1400	410.00(?)
1.396	0.914	2.71	2.80	7.59	12.65	86	1250	375.00(?)
1.524)	0,685	2.34	2.35	5.50	9.16	»	11500 (tirag. forcé)	»
1.220	0.762	3.09	2.25	6.95	11.60	96	840	252.00
1.371	1.067	2.48	2.67	6.62	11.03	80	700	175
1.371	0,914	2.72	2.67	7.26	12.10	»	»	»
1.958)	1.118	2.09	2.34	4.87	7.36	»	6562 9653	1980
1.524	1.143	2.79	2.22	6.19	10.71	»	1700	430.00
1.118	0.762	2.52	2.78	7.00	11.68	85	750	202.50
1.321)	0.914	2.42	2.82	6.82	11.36	»	3000	766.30
1.650	0.914	2.21	2,62	5.79	9.65	»	2500	730.00
1.016	0.762	2.29	2.38	5.45	9.08	113	915	149.00
0.660	0.457	3.26	2.07	6.75	11.25	»	»	»
1.016	0.762	2.00	2.81	5.62	9.37	110	890	102.30
1.702	1.066	2.70	2,67	7.20	12.00	70.5	1668.5	437.00
1.484	0.990	2.39	2.84	6.79	11.31	80	1200.0	336.00
1.448	0.610	2.38	2.02	4.81	8.01	»	»	(tirag. forcé) 618
0.533	1.219	2.57	2.52	6,46	10.76	63	187.6	»
0.779	0.686	2.32	3.06	7.10	11.83	»	580(?)	150.2
2.286	1.524	2.63	2.67	7.02	»	»	»	»
1.778	1.219	2.24	2.54	5.69	»	81	3002	617.50

TABLEAU

Dimensions principales des machines

DÉSIGNATION DE LA MACHINE.	NOMS DES CONSTRUCTEURS	Année de la construction	Nombre de cylindres	Pression aux chaudières	Diamètre des cylindres H. P.	Diamètre des cylindres M. P.
Lady Torfrida	Fairfield	1888	5	10.54	2×0.362	0.775
Diddington	Priestman	1889	3	11.25	0.533	0.889
Antoinette.	Scott	»	3	11.25	0.279	0.432
Rock Light.	Owald	»	3	11.70	0.570	0.940
Glengyle	D. et G. E. C°	»	3	5.84	0.863	1.346
Neva	Rolloxand Son	»	3	10.54	0.379	0.508
Planet (Mar. Mil.) . .	Palmer	»	2×3	12.50	2(0.467	0.636
Melpomene (id.) . .	»	»	6	10.60	2(0.876	1.294
Hibernia	Raylton-Dixon	»	5	11.25	0.559	0.889
Machine fixe	»	»	3	10.54	0.508	0.787
Aurora	Thompson	»	3	9.14	0.940	1.295
Teutonic	Harland et Woolf.	»	2×3	12.65	2(1.092	1.727
Prudentia.	Palmers	»	3	11.25	0.646	0.940
Abeona	»	»	3	10.54	0.635	0.838
Hsin-Yu.	Jackson.	»	3	11.25	0.559	0.838
Tabor	Rowan	»	3	11.25	0.610	0.990
München	Fairfield	»	3	10.54	0.762	1.267
Pocasset.	Stephenson	»	3	11.00	0.635	0.990
Empress	Hutson	»	3	11.25	0.457	0.762
Winnie	Grangemouth-Dockyard	»	3	11.25	0.482	0.762
Embiricos.	Mc Illwain	»	3	11.25	0.546	0.914
Indiamayo	L. et G. Sh. C°	»	3	10.54	0.736	1.194
Star of England . . .	Workman et C°	»	3	10.54	0.673	1.118
Strathendrick	Russel	»	3	10.54	0.571	0.889
X	Bow. Mc Loch'anr	»	3	11.25	0.610	1.016
Modjeska	Govan Works	»	2×3	11.00	2(0.380	0.610

N° 2 (Suite).

à triple et quadruple expansion.

Diamètre des cylindres B. P.	Course.	RAPPORT DES CYLINDRES			Rapport de détente à 0,60 d'admission.	Nombre de tours	Puissance indiquée	Surface de chauffe.
		Premier au second.	Second au troisième.	TOTAL			Chevaux	m²
2×0.960	0.762	2.14	3.07	6.56	»	»	»	»
1.445	0.990	2.82	2.65	7.47	»	80	»	»
0.711	0.533	2.37	2.78	6.57	»	155	»	65.00
1.549	0.990	2.75	2.71	7.40	»	»	»	»
2.207	1.371	2.33	2.70	6.29	»	»	3107	755.00
0.965	0.762	1.80	3.60	6.48	»	83	»	»
1.092)	0.508	2.15	2.52	5.42	»	»	3500	570 (?)
1.944)	0.914	2.26	2,27	5.12	»	143.6	9641 (tirage forcé)	1710 (?)
1.498	0.990	2.52	2.72	6.85	»	82	1700	500 (?)
1.295	1.220	2.89	2.72	6.62	»	80	»	»
1.981	1.066	1.88	2.35	4.42	»	60	5670	1470.00
2.794	1.523)	2.53	3.10	7.59	12.65	60(?)	3500	2400.00
1.580	1.067	2.09	2.82	5.89	7.81	70	1350	418.50
1.347	0.991	1.95	2.31	4.50	7.50	76	1200	340.00
1.372	1.168	2.33	2.66	6.20	10.34	65	990	275.00
1.625	1.143	2.63	2.70	7.10	11.83	65	1800	530.00
2.032	1.371	2.78	2.58	7.19	11.88	80	3500	1000.00
1.575	1.067	2.23	2.51	6.09	10.15	»	»	»
1.219	0.838	2.78	2.56	7.12	11.90	76	850	245 (?)
1.295	0.660	2.51	2.89	7.25	12.00	82	850	242.00
1.499	1.096	2.80	2.69	7.53	12.60	»	»	»
1.930	1.295	2.55	2.63	6.81	11.35	62.	2300	650.00
1.778	0.914	2.77	2.50	6.92	11.53	63	1969	520.00
1.486	0.990	2.42	2.80	6.78	11.20	»	»	170.00 (tirage forcé)
1.625	1.143	2.77	2.52	7.03	11.70	60	1700	»
1.014	0.686	2.56	2.77	7.10	11.83	»	1840	333.00 (tirage forcé)

TABLEAU

Dimensions principales des machines

DÉSIGNATION DE LA MACHINE.	NOMS DES CONSTRUCTEURS.	Année de la construction.	Nombre de cylindres	Pression aux chaudières	Diamètre des cylindres H. P.	Diamètre des cylindres M. P.
Ponani	Whitehaven	1889	3	11.25	0.406	0.660
Imperial	Laird	»	3	10.54	0.787	1.245
Dryfesdale	Connal	»	3	11.25	0.584	0.939
Reina-Maria	Denny	»	3	11.95	0.863	1.448
Santon	Wallsend	»	3	10.54	0.571	0.927
Dunmore Head	Thomson	»	3	11.55	0.559	0.914
Juno	Earles	»	3	11.25	0.521	0.800
Adula	Mc Ilwaine	»	3	11.25	0.457	0.761
Windcliffe	Craigg	»	3	11.25	0.508	0.838
Alphonse Parran	Doxford	»	3	11.25	0.533	0.838
Bownmore	Mc Millan	»	3	11.25	0.559	0.863
Lord Aberdeen	Mc Knight	»	3	11.25	0.533	0.813
X	Grangemouth-Dockyard	»	3	10.54	0.305	0.500
Red Sea	Thomson	»	3	11.25	0.533	0.838
Machine fixe	Douglas et Grant	»	4	11.25	2×0.355	0.800
Rock-Light	Oswald	»	3	11.25	0.570	0.939
Iugo	Clark	»	3	11.25	0.584	0.937
Amadeo	Scott	»	3	11.25	0.248	0.406
Lady Martin	Dursymens	»	3	10.54	0.609	0.990
Clutha 4	»	»	3	10.96	0.114	0.165
Cordoba	Blair	1888	3	11.25	0.610	1.016
Godolphin	Hutson, Carbett	1889	3	11.00	0.457	0.762
Gabrielle	Jollet et Babin	1874	4	4.50	0.900	0.900
Atlantique	»	1876	3	5.00	0.500	0.720
J. B. Say	»	1878	3	5.00	0.500	0.560

N° 2 (Suite).

à triple et quadruple expansion.

Diamètre des cylindres B. C.	Course	RAPPORT DES CYLINDRES Premier au second	Second au troisième	Total	Rapport de détente à 0,60 d'admission.	Nombre de tours	Puissance indiquée	Surface de chauffe.
							Chevaux	m²
1.016	0.762	2.39	2.65	6.33	10.55	112	915	1480.00 (tirag. forcé)
1.905	1.372	2.48	2.34	5.60	9.03	76	3000	880.00
1.524	1.067	2.58	2.61	6.73	11.11	»	1800	540.00
2.311	1.521	2.82	2.54	7.16	11.93	»	»	»
1.524	0.990	2.65	2.66	7.07	11.80	»	»	»
1.524	1.067	2.69	2.76	7.42	12.30	»	»	»
1.372	0.838	2.38	2.92	7.42	12.30	72	1100(?)	310 (?)
1.245	0.838	2.79	2.66	6.95	11.60	75	850	250.00
1.372	0.914	2.72	2.67	7.26	12.00	80	1040	300.00
1.372	0.914	2.47	2.67	6.57	10.98	80	1200	320.00
1.422	0.990	2.38	2.70	6.43	10.71	72	1200	350.00
1.422	0.990	2.32	3.05	7.08	11.80	»	1200	350.00
0.686	0.610	2.68	1.88	5.04	8.40	»	350	74.00
1.372	1.067	2.47	2.67	6.59	10.98	»	»	»
1.270	1.524	2.54	2.52	6.40	10.83	70	En constr.	»
1.549	0.990	2.76	2.72	7.50	12.50	75(?)	1630	427.00
1.549	1.067	2.57	2.72	7.05	11.73	75(?)	1700	430.00
0.635	0.457	2.68	2.48	6.65	11.08	»	220	58.50
1.626	1.143	2.60	2.71	7.05	11.75	83	1900	384.00
0.330	0.305	2.07	4.00	8.36	13.93	220	75	18.58
1.676	1.143	2.79	2.69	7.506	12.51	59	1435	380.00
1.219	0.914	2.75	2.53	6.950	11.60	»	900	270.00
2 de 1.000	0.800	2.25	2.47	5.55	9.25	86	450	125.00
1.120	0.800	2.08	2.42	5.01	8.35	90	350	106.00
0.880	0.650	2.84	2.46	7.00	11.7	104	278	94.75

TABLEAU

Dimensions principales des machines

DÉSIGNATION DE LA MACHINE.	NOMS DES CONSTRUCTEURS	Année de la construction	Nombre de cylindres	Pression aux chaudières	Diamètre des cylindres H. P.	Diamètre des cylindres M. P.
Lafayette	Compagnie générale Transatlantique.	1887-89	2×3	10.00	20.660	1.050
Eugène Péreire . . .			3	10.00	0.800	1.240
St-Laurent			5	10.00	0.520	1.440
Duc de Bragance . .			3	10.25	0.840	1.240
Ville d'Oran			3	10.00	0.780	1.070
Touraine			2×3	10.50	2(1.040	1.540
Ville d'Alger			3	10.25	0.840	1.300
Champagne.			6	8.00	1.250	2 de 1.250
Enre-Rios	Chantiers de la	1887	3	9.00	0.645	1.050
Paraguay	Loire	»	3	11.00	0.700	1.155
Canots-Vedettes (M.M.)	»	»	3	9.25	0.150	0.230
Franche-Comté. . . .	Forges et Chantiers	1888-89	3	9.00	0.490	0.780
Tamise			3	8.00	0.640	0.940
Dordogne.			3	10.00	0.700	1.120
Brésil			3	9.00	1.160	1.600
Australien.			3	12.00	1.120	1.700
Itsuckushima (M.M.).			2×3	12.00	0.390	0.620
Croiseur chilien. id .			2×3	11.25	0.680	1.010
Cuirassé chilien. id .			2×3	10.00	1.010	1 470
Goëlettes chiliennes.			3	10.00	0.310	0.450
Amiral Kornilow (M.M.).	»	1887	2×3	9.50	2(1.090	1.440
Tage (Mar. Mil.). . .	»	»	2×3	8.59	2(0.900	1.725
Alger (Mar. Mil.). . .	Creusot	89	2×3	17.00 / 12.00	2(0.860	1.360
Dupuy-de-Dôme (M.M.)	Chantiers de la Loire	»	3×3	11.25	3(0.840	1.310
Machine fixe horiz. .	Sulzer	»	3	10.00	0.350 (simple effet)	0.525 (simple effet)
Machine fixe à pilon.	Sulzer	»	3	10.00	0.400	0.600

N° 2 (Suite).

à triple et quadruple expansion.

Diamètre des cylindres B. P.	Course	RAPPORT DES CYLINDRES			Rapport de détente 0,60 d'admission	Nombre de tours	Puissance indiquée	Surface de chauffe.
		Premier au second	Second au troisième	TOTAL			chevaux	m²
1.720)	1.200	2.53	3.03	7.66	12.76	70	1800	»
2.000	1.940	2.40	2.59	6.24	10.40	85	3200	»
2 de 1.700	1.300	2.43	2.78	6.72	11.30	58	2800	»
2.000	1.240	2.16	2.59	5.65	9.41	85	8400	»
2.030	1.220	1.87	3.57	6.67	11.11	68	2250	»
2.540)	1.660	2.19	2.69	5.89	9.81	72	6000	»
2.100	1.240	2.37	2.59	6.14	10.23	85.	3600	»
2 de 1.900	1.700	2.00	3.47	6.98	11.63	52.8	5499	2208.98
1.660	1.120	2.62	2.50	6.55	10.91	70 - 73	1620-1860	341.50
1.800	1.200	2.72	2.41	6.55	10.91	72.5	2475	484.80
0.340	0.240	2.35	2.18	5.13	8.55	480	100.	22.70 (tirage forcé)
1.250	0.900	2.53	2.63	6.507	10.83	88	801	181.56
1.400	1.100	2.15	2.22	4.780	7.96	82	1068	332.50
1.780	1.200	2.559	3.55	6.466	10.79	76	2145	520.00
2.600	1.300	1.503	2.64	5.024	8.26	82	En constr.	1214.34
2.700	1.350	2.303	2.53	5.811	9.68	81	id.	2143.00
1.440	1.000	2.527	5.38	13.635	22.70	72	id.	1257.82
1.520	0.800	2.206	2.26	4.996	8.32	150	id.	1200.00
2.260	1.000	2.118	2.36	5.007	8.34	120	id.	2075.00
0.680	0.450	2.107	2.28	4.810	8.01	130	id.	68.50
2.120	1.300	2.50	2.22	5.500	9.17	100	8800	»
2.550	1.200	2.48	2.20	5.470	9.16	97	12400 (tirage forcé)	2375.44
2.060	0.850	2.50	2.28	5.70	9.50	120	8000 (Prévu	2070.00 (Belleville)
2.040	0.850	2.43	2.42	5.87	9.78	140	14000 id.	3061.00
0.700	0.750	2.25	3.54	7.96	19.99 (40 p. 0/0)	100	118	»
0.900	0.600	2.25	2.25	5.06	12.65 (40 p. 0/0)	125	485 (int. : 0.40)	»

TABLEAU

Dimensions principales des machines

DÉSIGNATION DE LA MACHINE.	NOMS DES CONSTRUCTEURS.	Année de la construction.	Nombre de cylindres.	Pression aux chaudières.	Diamètre des cylindres H. P.	Diamètre des cylindres M. P.
Quadruple expansion						
County of York. . . .	Barrow	1886	4	11.50	0.580	0.723 1.016
Jumna.	Denny	»	4	11.25	0.889	1.232 1.702
Lahora.	Denny	»	4	11.25	0.610	0.864 1.219
Rionnag-Na-Mara . .	Rankine	»	6	11.65	3×0.178	0.406 0.559
X.	Fleming-Fergusson	1887	4	11.25	0.178	0.229 0.317
Buenos-Ayres	Denny	»	4	12.40	0.813	1.180 1.640
Singapore.	Fleming-Fergusson	1888	4	11.60	0.609	0.762 1.016
Polo	Earles	1889	4	14.00	0.350	0.470 0.698
Falls of Inversnaid. .	Rankine	»	»	12.40	0.457	0.660 0.914
Parahyba	Allan	»	»	15.00	0.400	0.508 0.787
Merapi	Scheld	»	»	14.06	0.584	0.838 1.092

N° 2 (Suite).

à triple et quadruple expansion.

Diamètre des cylindres B. P.	Course	RAPPORT DES CYLINDRES				Rapport de détente à 0,60 d'admission.	Nombre de tours	Puissance indiquée	Surface de chauffe
		Premier au second.	Second au troisième	Troisième au quatrième.	TOTAL				
m	m							chevaux	m²
1.447	1.066	2.02	2.00	2.02	8.16	13.60	85	984	251.00
2.388	1.514	1.91	1.91	2.14	7.23	12.50	»	»	»
1.727	1.219	2.00	1.98	2.03	8.06	13.42	»	»	»
0.864	0.610	1.73	1.89	2.40	7.85	13.08	»	»	»
0.457	0.305	1.62	1.78	2.08	5.66	9.43	»	110	31.00
2.335	1.523	2.11	1.85	2.03	7.91	13.21	»	4300	1200.00
1.520	1.067	1.56	1.78	2.22	6.17	10.28	80	1600	470.00
0.990	0.610	1.80	2.20	2.01	7.96	13.26	»	»	»
1.318	0.990	2.09	1.91	2.08	8.31	13.85	»	»	»
1.372	1.067	1.61	2.39	3.03	11.71	19.51	»	(En construction).	334.80
1.600	1.067	2.04	1.69	2.19	7.48	12.47	»	»	»

TABLEAU N° 3

donnant les pressions moyennes dans les cylindres de différentes machines à triple expansion.

Pression aux chaudières	Rapport des cylindres		Introduction de vapeur			Coefficient de détente	Coefficient de rendement	Ordonnées moyennes			
	$\frac{W_1}{W}$	$\frac{W_2}{W}$	H.P.	M.P.	B.P.			H.P.	M.P.	B.P.	Totalisées
kil.								kil.	kil.	kil.	kil
10,5	2,339	6,90	0,70	0,65	0,70	9,84	0,520	4,750	2.050	0,665	2,041
10,00	2,28	4.93	0,65	0,60	0,65	7,580	0,552	4.25	1.65	0,890	2,502
10,00	2,25	4.535	0,65	0,50	0,65	7,690	»	3,655	1,850	0,990	2,723
9,50	2,56	5 55	0,700	0,736	0,768	7,928	0,610	4,98	1,564	0,867	2,485
»	2,67	5,66	0,65	0,60	0,70	8,707	»	4,56	1,43	0,690	2,16
»	»	»	0,60	»	»	9,435	»	4,60	1,35	0,660	2,046
8.50	2,25	5,06	0,600	0,600	0,750	8,430	»	3,37	1,620	0,721	2,107
»	2,56	5,55	0,50	0,544	0,589	11,100	0,647	3,85	1,18	0,658	1,895
»	2,16	5,44	0.60	0,55	0.60	9,06	0,541	1,340	1.600	0,650	1,901
»	»	»	0.70	0,65	0,70	7,77	0,53	3,680	1,680	0,690	2,033
7,50	2,16	5,44	0,70	0,65	0,70	7,77	0,513	3,240	1,510	0,595	1,791
7,00	1,94	4,98	0,80	0,65	0,65	6.225	0,488	2,630	1,57	0,730	1,871
»	»	»	0,45	0.50	0,50	11.060	0.524	2,630	1,10	0,530	1,486
6,00	2,116	4,68	0.60	0,65	0,70	7,800	0,524	2.73	1,040	0,480	1,531
»	»	»	0,70	0,65	0,70	6,680	0.514	2,53	1,150	0.570	1,639
»	2.118	4,681	0,65	0,60	0.65	7,200	0.527	2,54	1,100	0,560	1,600

RÉSULTATS ÉCONOMIQUES

Les machines à triple expansion sont suffisamment entrées dans le domaine de la pratique pour qu'on ait pu les juger à l'œuvre et déduire de leur fonctionnement des conséquences sérieuses. Il est aujourd'hui superflu de baser l'affirmation des résultats économiques obtenus, sur des chiffres officiels ou émanant de personnes connues. Les avantages de ces machines ne sont plus, depuis longtemps déjà, niés par personne, et, sans ajouter une foi entière à certains chiffres évidemment trop bas de consommation qui ont été parfois donnés, on est contraint de reconnaître que la construction des machines marines est entrée dans une phase très réelle de progrès, par la route la plus directe et la plus rationnelle.

Nous nous contenterons de citer trois exemples qui montrent bien ce que l'on est en droit d'attendre des machines à détentes fractionnées.

Des expériences comparatives furent faites, vers 1881, sur deux cargo-boats de 1700 tonnes, absolument semblables sous tous les rapports : le *Draco* muni d'une machine à triple expansion, et le *Kovno*, qui avait un appareil compound ordinaire. Ils accomplirent ensemble le voyage de Bombay, dans les mêmes conditions de temps de mer et de chargement. Pendant cette traversée le *Draco* brûla 326 tonnes de charbon et le *Kovno* 405 tonnes. C'est une économie de 19,5 0/0 en faveur de la machine à triple expansion, bien que l'accroissement de vitesse ait été de 6,5 0/0.

A bord du *Lusitania* de l'*Orient Line*, possédant un appareil compound de 2.300 chevaux environ, marchant à 4 kil., la consommation journalière s'élevait à 62 tonnes de charbon de Cardiff. Après la transformation de cette machine en triple expansion à haute pression (9 kil.), la dépense de charbon, pendant 24 heures, s'abaissa pour la même vitesse à 37 tonnes. La consommation restant seulement un peu inférieure (50 tonnes), la puissance se trouvait portée de 2.300 chevaux à 3.622.

En 1886, la *Société des Forges et Chantiers de la Méditerranée* fut

chargée de remplacer l'ancien appareil de la *Franche-Comté* par une machine à triple expansion. L'appareil primitif fonctionnait à une pression de 3 kil. ; il était à cylindres égaux, développait 350 chevaux, et consommait 500 kil. de charbon par heure. La nouvelle machine fonctionne à 9 kil. et développe 650 chevaux ; la vitesse a augmenté de 2 nœuds et la consommation par heure s'est trouvée réduite à 475 kil. L'accroissement de puissance a entraîné une augmentation de vitesse tout en permettant au bâtiment de faire route par des temps qui, auparavant, l'obligeaient à prendre la cape ou à relâcher. Aussi, le nombre annuel des voyages a-t-il plus que doublé.

Pratiquement, on peut compter que la consommation de charbon, par cheval-heure, des machines à triple expansion fonctionnant entre 10 et 11 kil., ne dépasse pas 0 kil. 800. Les appareils à quadruple expansion, ayant un rapport de cylindre variant de 7 à 9 et marchant à une pression de 11 à 14 kil. ne consomment plus que 0 kil. 750 et même 0 kil. 650 en service. La consommation aux essais est toujours un peu moindre à cause de la qualité supérieure du combustible et de la surveillance qui est plus grande.

Quoi qu'il en soit, ces chiffres sont éloquents et justifient la vogue des appareils à haute pression et à cascades. Partout, on s'occupe de transformer les anciennes machines compound, en leur ajoutant un ou plusieurs cylindres et en remplaçant leurs chaudières par d'autres, timbrées à des pressions plus élevées. Les sommes engagées dans ces transformations sont rapidement amorties par les économies de charbon réalisées, surtout si les navires à bord desquels on les opère, trafiquent dans les mers lointaines où le prix du charbon est élevé.

TABLEAU N° 4

Consommation de quelques machines à triple et quadruple expansion.

NOMS DES BATIMENTS	Genre de machine.	Pression de régime.	Rapport des cylindres.	Coefficient de détente.	Puissance à l'essai de consommation.	Consommation de charbon par cheval-heure	OBSERVATIONS
		kil.			Chx.	kil.	
Australia (M. mil. ang.)	Triple expansion	9.80	4.37	7.36	9.653	0.900	
Lady Brassey...	Triple expansion	11.25	6 75	11.25	»	0.700	
Isle of Dursey. .	Triple expansion	10.54	7.80	13.00	617	0.680	
Australasian . .	Triple expansion	8.75	4.80	8.00	2.630	0.700	
Cordofa.	Triple expansion	11.00	7.50	12.50	1.435	0.670 (1)	(1) Moyenne, en service, de 6 voyages.
Entre-Rios . . .	Triple expansion	9.00	6.55	10.91	1.620	0.810 (2)	(2) Moyenne de 11 voyages.
Paragay	Triple expansion	11.00	6.55	10.91	2.475	0.790 (3)	(3) Moyenne de 3 voyages.
Franche-Comté.	Triple expansion	9.00	6.50	10.66	801	0.742	
Tamise	Triple expansion	8.00	4.78	7.30	1.068	0.749	
Dordogne. . . .	Triple expansion	10.00	6.46	10.43	2.145	0.608	
Champagne. . .	Triple expansion	8.00	6.08	8.60	5.499	0.840	
Ohio.	Triple expansion	10.54	5.50	9.16	2.100	0.560	
Pretoria.	Triple expansion	10.54	6.75	11.25	2.400	0.720	
Benmore	Triple expansion	10.54	7.67	12.65	1.250	0.600	
Singapore . . .	quadruple	11.60	6.17	10.28	1.600	0.505	

DIFFÉRENTES DISPOSITIONS QUE PEUVENT AFFECTER LES MACHINES A TRIPLE ET A QUADRUPLE EXPANSION.

Les machines à triple expansion comportent, nous l'avons vu, trois cylindres et celles à quadruple expansion quatre cylindres au moins. Les cylindres peuvent être en plus grand nombre et, comme ils sont susceptibles de beaucoup d'arrangements relatifs, nous allons étudier maintenant les principales dispositions que peuvent affecter ces machines.

Appareils à triple expansion.

Pratiquement, le nombre des cylindres peut varier de trois à six.

La machine la plus simple que l'on puisse imaginer, se présenterait sous la forme d'une machine Woolf avec les trois cylindres disposés en tandem et commandant une même bielle par l'intermédiaire d'une tige commune. Il n'y a pas lieu de nous occuper de ce dispositif, en raison des nombreux inconvénients qu'il présente et surtout des difficultés de montage qu'entraînerait sa construction.

L'appareil à trois cylindres et à deux manivelles qui vient ensuite est au contraire assez répandu. Cet arrangement résulte généralement de la transformation d'une machine compound existante en appareil à triple détente. On ajoute un petit cylindre au-dessus de l'ancien cylindre à haute pression qui devient ainsi intermédiaire. Les inconvénients sont du même ordre que ceux du type précédent, mais ils se trouvent bien atténués par l'addition d'une seconde manivelle.

Dans ce système, on superpose plutôt le petit cylindre au cylindre à moyenne pression qu'au grand cylindre. Le poids total des deux pistons montés sur la même tige est ainsi moindre que si l'on adoptait la disposition inverse. D'ailleurs, leur poids est en partie équilibré par les organes de la pompe à air, articulés à l'extrémité

Fig. 8

MP 2 | HP 1 | MP 2

BP 3 | BP 3 | BP 3

Fig. 8

MP 3 | MP 3 | HP 1

BP 4 | BP 4 | MP 2

Fig. 7

MP | HP | BP

Imp. Monrocq, Paris.

d'un balancier commandé par la crosse de la tige commune aux deux pistons.

La machine la plus répandue est sans contredit à trois cylindres commandant autant de manivelles. Ce système est d'ailleurs celui qui réunit le plus d'avantages. Nous avons insisté à diverses reprises sur l'intérêt que présente, pour les machines marines, la régularité des moments moteurs, il en résulte des frottements moindres et, par conséquent, un meilleur rendement mécanique; la sécurité de la ligne d'arbres est plus grande et la rotation s'effectue avec plus de régularité. Les appareils à trois manivelles présentent ces qualités à un degré supérieur et conviennent particulièrement aux paquebots et aux grands yachts, en raison des faibles trépidations qu'ils engendrent.

On a également construit un grand nombre de machines à deux manivelles et à quatre cylindres, qui ont sur les précédents l'avantage de nécessiter l'emploi d'un moins grand nombre d'organes et d'occuper un espace plus restreint dans le sens de la longueur. Toutefois, les variations des couples moteurs et les pressions sur les coussinets y sont plus fortes. Les manivelles de ces machines sont toujours calées à 120°. Afin de faciliter la mise en train, on porte généralement à deux le nombre des petits cylindres. Toutefois, quelques constructeurs préfèrent adopter deux cylindres de détente afin de pouvoir diminuer leur diamètre.

On peut critiquer, dans les appareils tandems, l'élévation du centre de gravité de l'ensemble qui, au roulis, fatigue les boulons de fondation et le carlingage, et la nécessité qui s'impose de démonter le petit cylindre et tout son tuyautage pour une visite ou une réparation du grand piston correspondant.

Les petits cylindres peuvent être superposés directement aux autres, sans intervalle, et de telle sorte que le fond correspondant soit commun. On dispose alors le plus souvent, entre les deux cylindres, une garniture métallique qui a l'inconvénient de n'être pas accessible et de pouvoir donner lieu à des fuites sans que l'on puisse s'en rendre compte. Quelques constructeurs anglais ont remédié à cet inconvénient par l'artifice suivant. Le fond commun aux deux cylindres ne porte pas de presse-étoupes, et la tige du piston inférieur n'est pas prolongée vers le haut. La tige du petit piston traverse le

couvercle supérieur et vient s'atteler à une traverse dont chaque extrémité porte une tige, le petit cylindre est compris entre ces deux tiges, qui pénètrent dans le grand cylindre par des stuffing-box extérieurs et viennent se fixer sur le grand piston.

Il existe encore des machines à cinq cylindres et à trois manivelles ; les deux cylindres d'admission se trouvent superposés aux deux grands, tandis que le cylindre intermédiaire est compris entre ces deux derniers. Les cylindres de détente finale peuvent aussi être juxtaposés et l'un des petits est placé au-dessus du moyen cylindre.

On construit aussi des machines qui se composent de trois groupes de cylindres, disposés en tandem deux à deux, et juxtaposés dans l'axe longitudinal du navire. Les trois cylindres inférieurs constituent par exemple les cylindres de détente finale ; le cylindre d'admission est superposé au grand cylindre du milieu, et les deux moyens cylindres se trouvent au-dessus des deux grands cylindres extrêmes. On peut aussi ne disposer qu'un cylindre d'admission, opérer la seconde détente dans les deux autres cylindres supérieurs, et la dernière cascade dans les trois cylindres du bas auxquels on donnera le même diamètre.

Machines à quadruple expansion.

L'appareil de ce genre, le plus simple, se compose de deux groupes de tandems juxtaposés comprenant, l'un le cylindre d'admission et le grand cylindre, l'autre les deux moyens cylindres. Quelquefois on superpose le premier et le troisième cylindre au second et au quatrième.

Les machines à quadruple expansion à trois manivelles comportent cinq ou six cylindres. On trouvera, sur la Planche I, les diverses dispositions que l'on peut rencontrer.

Machines mixtes ou spéciales.

Nous désignerons sous le nom de machines mixtes les appareils de navigation susceptibles de fonctionner soit comme compound

simples, soit comme machines à triple expansion. Ces machines conviennent tout particulièrement aux navires de guerre pour lesquels on exige deux vitesses différentes, l'une des allures étant produite avec tirage naturel sans pousser les feux, l'autre avec tirage forcé à outrance.

Imaginons, par exemple, que l'arbre de l'hélice soit commandé par un groupe de trois cylindres,de diamètres différents, actionnant chacun une manivelle. L'ensemble de l'appareil sera disposé pour fonctionner avec triple détente. Toutefois, on disposera un tuyau spécial, donnant échappement du moyen cylindre au condenseur, et que l'on pourra fermer avec une valve A. Le tuyau de communication du cylindre intermédiaire avec la boîte du grand tiroir portera également une valve B. Lorsque l'on voudra marcher à l'allure ordinaire, on ouvrira la valve A et on fermera B ; on réglera ensuite la distribution pour une faible introduction au petit cylindre, 0,46 par exemple. L'appareil se comportera alors comme une machine compound simple. Pour obtenir l'allure forcée, on augmentera l'introduction au petit cylindre, on ouvrira la valve B, on fermera A, et le moteur fonctionnera comme machine à triple expansion en développant une puissance supérieure, sans que le degré de détente et la consommation par cheval soient sensiblement modifiés, ce qui n'a pas lieu avec les machines compound ordinaires dont le fonctionnement cesse d'être économique pour la marche à outrance.

Un exemple plus rationnel de changement de régime est donné par la machine du torpilleur *Ouragan*. Les cylindres sont au nombre de quatre ; le grand et le moyen cylindres, disposés suivant le type pilon, commandent chacun une manivelle, tandis que le petit cylindre et le premier cylindre intermédiaire, inclinés de 90° l'un par rapport à l'autre, attaquent une manivelle commune. L'allure normale à vitesse réduite s'obtient en introduisant seulement la vapeur dans le petit cylindre ; la machine est alors à quadruple expansion, le nombre de tours ne dépassant guère 155. Pour la marche à toute vitesse, la vapeur des chaudières est admise à la fois dans les deux premiers cylindres. Le fonctionnement est à triple expansion et l'appareil, tournant à un peu plus de 300 tours, développe une puissance environ huit fois supérieure.

Le changement de régime est obtenu au moyen d'un jeu de soupapes très simple et peut s'opérer en moins d'une minute.

Ce dispositif, qui permet dans tous les cas une utilisation satisfaisante de la vapeur, serait d'une application facile et intéressante à bord de nos plus grands navires de guerre. La vitesse que l'on exige de ces bâtiments pendant le combat s'écarte de plus en plus de leur vitesse normale et il convient de leur appliquer des machines qui restent économiques à toutes les allures. L'accouplement et le découplement de deux appareils commandant le même arbre est une solution peu élégante du système qui entraîne une grande complication et devrait être abandonnée aujourd'hui.

Un petit vapeur anglais à deux hélices, l'*Arabian*, fournit un intéressant spécimen de machine mixte, conçu dans un esprit un peu différent. Chacun des arbres ne porte qu'un coude actionné par les pistons de deux cylindres superposés. Au-dessus de l'arbre de tribord se trouvent un cylindre d'admission et un cylindre intermédiaire ; au-dessus de l'arbre de babord sont placés un autre cylindre d'admission de même diamètre que le premier et un cylindre à basse pression.

Dans le fonctionnement normal, les deux machines tournant, la vapeur d'échappement des cylindres d'admission se rend à la partie basse du réservoir intermédiaire, et de là à la boîte à tiroir du moyen cylindre. Cette vapeur, après avoir agi, passe dans la partie supérieure du même réservoir, d'où un tuyau horizontal la conduit au tiroir du cylindre à basse pression. Ensuite il y a échappement au condenseur.

Supposons que l'on stoppe la machine de babord, en mettant la coulisse au point mort, les deux valves d'arrêt restant ouvertes. L'appareil de tribord continuant à fonctionner, la vapeur d'échappement de son petit cylindre se rendra dans la partie basse du réservoir entourant le cylindre intermédiaire, elle passera de là dans la boîte à tiroir de ce même cylindre, d'où elle s'échappera, après avoir agi, dans la chambre supérieure du réservoir. Puisque la machine de babord est arrêtée, cette vapeur ne peut se rendre dans le cylindre à basse pression, aussi s'accumule-t-elle dans l'espace intermédiaire, jusqu'à ce que sa pression soit suffisante pour soulever une valve à ressort et de là s'échapper dans l'atmosphère.

D'autre part, si la machine de tribord seule est stoppée, la vapeur du cylindre à haute pression s'échappera dans la partie basse du réservoir intermédiaire, et, ne trouvant pas d'issue pour se rendre dans le moyen cylindre, dont la coulisse est au point mort, elle s'accumulera jusqu'à ce que sa pression soit assez élevée pour soulager un petit clapet à ressort disposé à cet effet, puis elle passera dans la partie haute de ce même réservoir, de là dans la boîte du grand tiroir ; elle se détendra dans le cylindre à basse pression et, finalement, sera dirigée dans le condenseur à la manière ordinaire.

Ainsi, cette machine peut se comporter de trois façons différentes: comme appareil à triple expansion et à condensation ; comme compound sans condensation quand l'appareil de babord est seul en action ; comme compound à condensation. Malgré la complication apparente du jeu de la vapeur dans cet appareil, le fonctionnement, étant parfaitement automatique, se trouve en pratique d'une grande simplicité et n'exige de la part du mécanicien aucune manœuvre spéciale.

Indépendamment des types usuels que nous avons cités, il existe quelques machines construites pour répondre à une destination spéciale, et qui diffèrent des précédentes par leur disposition d'ensemble. Nous en décrirons quelques-unes au cours de cet ouvrage pour fixer les idées du lecteur.

En ce qui concerne les machines fixes, les dispositifs sont moins variés, à cause de la similitude du service. On paraît, pour les machines à triple expansion, préférer les appareils à quatre cylindres et à deux manivelles, disposés soit horizontalement soit verticalement. On rencontre aussi quelques machines à trois cylindres actionnant un égal nombre de manivelles. Nous rappellerons que, grâce à l'emploi des volants, la régularité des couples moteurs est moins nécessaire dans une machine fixe que pour un appareil de navigation.

Du reste, il n'y a encore qu'un très petit nombre de machines fixes à triple expansion et, à notre connaissance, il n'en existe pas encore à quadruple expansion. Quoi qu'il en soit, ces moteurs sont appelés à se répandre, particulièrement pour les grandes installations que nécessitent les usines centrales d'électricité ou de compression pour le transport de la force par l'air ou l'eau sous pression.

DEUXIÈME PARTIE

Nous allons maintenant décrire quelques machines marines à triple et à quadruple expansion que nous choisirons avec soin parmi les mieux établies ou les plus répandues, de telle sorte qu'elles puissent servir de types. Nous dirons plus loin quelques mots des machines fixes de ce système, lesquelles présentent un intérêt secondaire comme étant moins nombreuses et moins puissantes.

On trouvera, dans le tableau n° 2, les conditions principales d'établissement des machines considérées (1).

Machine à triple expansion du S.S. COURIER. (*Hawthorn*).

Cette machine, d'une grande légèreté, actionne un bâtiment dont la vitesse est très considérable: 17 nœuds,5 et les dimensions assez faibles (longueur 66^{m}). Aussi, cet appareil, bien que destiné à un navire du commerce, présente-t-il les particularités des machines construites pour la marine militaire. Il fonctionne à tirage forcé et on a, dans sa construction, fait un large emploi du bronze et de l'acier fondu.

Les trois cylindres, qui actionnent chacun une manivelle, sont très espacés et supportés sur une plaque de fondation en acier au moyen de bâtis de même métal, consolidés par des nervures, et fort légers. Le condenseur, en laiton, ne fait pas partie du bâti ; il est complètement isolé du reste de l'appareil. Les tiroirs sont placés latéralement et commandés par des distributions Marshall. Le grand cylindre, à cause de la vitesse de piston, comporte deux tiroirs dont les glaces font entre elles un angle d'environ 140°.

La pompe à air est actionnée par un balancier articulé sur la crosse

(1) Les Planches IV et V ont été réduites d'après *Engineering*.

de la tige de piston du grand cylindre. La surface réfrigérante est de 465^{m^2}.

La vapeur est fournie, à une pression de $10^k,54$, par deux chaudières, à quatre foyers chacune, ayant un diamètre de $4^m,57$ et une longueur de $3^m,30$, qui présentent une surface de chauffe de $475^{m^2},23$. et une surface de grille de $14^{m^2},69$. Deux ventilateurs, mûs chacun par une petite machine compound à grande vitesse, permettent d'obtenir dans la chaufferie une pression d'air de 25^{mm}.

Aux essais, cette machine a développé 2979 chevaux à une vitesse de 124 tours, avec un vide de 66^{cm}.

Machine du steam-yacht LADY TORFRIDA.
(Fairfield Shipbuilding Company)

Cette machine est du type pilon à cinq cylindres commandant trois manivelles espacées de 120°. Les deux petits cylindres sont superposés aux deux grands qui se trouvent séparés par le cylindre intermédiaire. Les tiroirs à haute pression sont cylindriques, les autres sont du type ordinaire à doubles orifices. La distribution est opérée par des coulisses de Stephenson et le changement de marche par un appareil du système Brown. L'arbre à manivelles, en une seule pièce, est en acier Vickers. Les cylindres sont supportés, d'un côté par le condenseur et trois supports formant glissière, de l'autre par des colonnettes en acier tournées et polies. Il y a deux pompes à air, dont les balanciers sont articulés sur les traverses des grands cylindres. Le poids des petits pistons et de leurs tiges est ainsi partiellement équilibré par celui des organes des pompes.

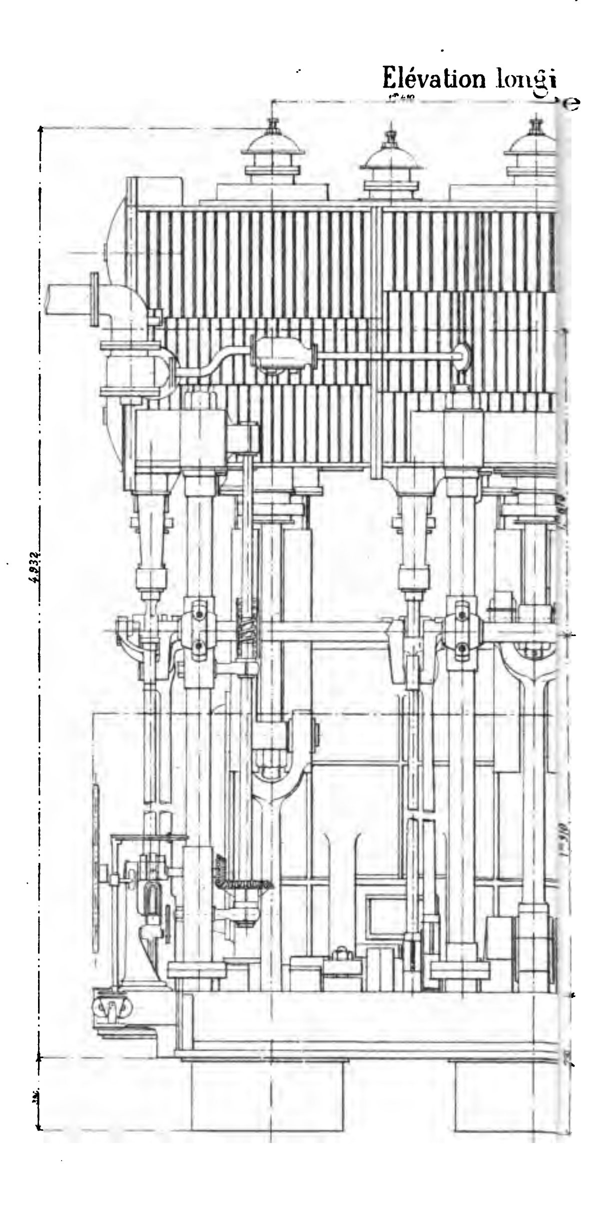
La vapeur est fournie par une chaudière single-ended à quatre foyers, ayant 4 m. 72 de diamètre et 2 m. 82 de longueur, timbrée à 10 k. 54. L'enveloppe de cette chaudière est formée de deux tôles seulement.

L'eau d'alimentation, avant de pénétrer dans le générateur, passe à travers un réchauffeur.

(Pour les dimensions principales, voir le tableau n° 2).

N

Élévation longi e



Baudry et Cie, éditeurs, 15 rue des Saints-Pères à Paris.

ıp. Monrocq. Paris.

Machine à triple expansion du S. S. FRANCHE-COMTÉ.

(Forges et chantiers de la Méditerranée).

PLANCHE II.

Cette machine, que nous avons citée plus haut, a remplacé un)areil à deux cylindres égaux ; elle est simple et appartient à un)e vraiment commercial.

Les trois cylindres sont placés côte à côte et également espacés ; actionnent un égal nombre de manivelles calées à 120°. 's tiroirs du petit et du moyen cylindre sont placés suivant l'axe la machine vers le dehors ; celui du cylindre intermédiaire est sposé entre les deux premiers cylindres. Les trois tiroirs sont ans et actionnés par des coulisses ordinaires à deux flasques. Le angement de marche est opéré au moyen d'une petite machine à n cylindre, sans renversement.

Les cylindres reposent, d'un côté sur le condenseur, au moyen de upports en fonte formant glissières, et de l'autre sur quatre coonnettes en fer rond auxquelles sont fixés les paliers de l'arbre de rappel.

La pompe à air, verticale et à simple effet, est commandée par un balancier articulé sur la traverse du grand piston.

Les pistons ne portent pas de contre-tiges.

Des soupapes de sûreté sont disposées sur le milieu du plateau de chaque cylindre et sur les couvercles des boîtes à tiroirs à moyenne et à basse pression.

Pour faciliter la mise en route, la vapeur peut être introduite dans la grande boîte à tiroir.

(Pour les dimensions principales de cet appareil, voir le tableau n° 2).

Machines à triple expansion pour torpilleurs.

(Forges et chantiers de la Méditerranée).

PLANCHE III

Comme exemple de machine légère et à grande vitesse, nous donnerons une description sommaire de l'appareil construit pour un

torpilleur roumain par la *Société des Forges et Chantiers de la Méditerranée.*

Cet appareil est du type pilon à trois cylindres actionnant un nombre égal de manivelles.

Les cylindres sont placés aussi près l'un de l'autre que le permet la longueur des portées de l'arbre et, à cet effet, les tiroirs sont placés, non entre les cylindres, mais sur le côté.

Les cylindres reposent sur une plaque de fondation en acier coulé extrêmement légère, par l'intermédiaire de dix colonnettes en acier poli qui sont inclinées dans le sens transversal et solidement entretoisées.

Les glissières, en bronze, sont situées à babord et fixées, d'une part, aux cylindres, de l'autre, à une des entretoises des colonnes.

Le tiroir à haute pression est cylindrique ; les autres sont plans. Il y a deux tiroirs au grand cylindre, à cause de la vitesse de piston qui exige des orifices de très forte section.

La distribution est du système Marshall qui permet de placer sans complication les tiroirs sur le côté des cylindres.

La pompe à air, verticale et à simple effet, est actionnée par un balancier qui dérive son mouvement d'un excentrique. Les pompes de cale et d'alimentation sont actionnées par une manivelle venue de forge à l'avant de l'arbre.

Le changement de marche est commandé au moyen d'un volant horizontal, lequel actionne l'arbre de rappel par une vis sans fin ou un pignon héliçoïdal.

La même Société a construit des machines à peu près semblables pour la marine française : torpilleurs de haute mer *Audacieux* et *Agile*. Toutefois, la course des pistons, relativement plus faible, est de deux centimètres inférieure au diamètre du petit cylindre. L'aspect de la machine est plus ramassé.

Ce dernier appareil présente une plus grande longueur, les tiroirs étant disposés à cheval au-dessus de l'arbre. L'entretoisement est opéré au moyen de tirants en acier disposés en croix de Saint-André qui viennent se fixer sur le bâti de fondation.

Cette machine est d'ailleurs plus puissante que la précédente (1100 chevaux au lieu de 540), elle s'écarte des machines de torpilleurs proprement dites par ses proportions et son aspect.

(Voir les dimensions tableau n° 2).



CHINE A TRIPLE EXPANSION DE 640 CHEVAUX

Torpilleur Roumain.

Forges et Chantiers de la Méditerranée.

Baudry et Cie, éditeurs
Imp. Monrocq, Paris.

MACHINES DES PAQUEBOTS *CHAMPAGNE* ET *BRETAGNE*
(Compagnie Générale Transatlantique).

Les machines de ces paquebots sont du système vertical à pilon, à six cylindres, et susceptibles de fonctionner soit en compound, soit en triple expansion suivant les cas.

Chaque appareil comprend trois groupes de deux cylindres, disposés en tandem et juxtaposés deux à deux, dans l'axe longitudinal du navire. Pendant le fonctionnement compound, la vapeur est admise dans les trois cylindres supérieurs,qui sont de même diamètre, et passe ensuite dans les trois grands cylindres supérieurs, placés au-dessous, pareillement égaux entre eux. L'ensemble constitue en réalité trois machines Woolf accouplées sur autant de manivelles à 120°. Mais ce n'est là qu'une marche accidentelle à laquelle on n'a recours qu'exceptionnellement, par exemple pour rattraper un retard.

Le fonctionnement normal est à triple expansion. Les trois cylindres inférieurs constituent les cylindres de détente finale ; le cylindre d'admission est superposé au grand cylindre du milieu, et les deux petits cylindres, dont les volumes réunis forment la cascade intermédiaire, se trouvant au-dessus des grands cylindres extrêmes.

Chaque *tandem* constitue pour ainsi dire une machine isolée, ayant son bâti spécial, son condenseur, sa pompe à air, sa turbine de circulation.

L'aspect extérieur rappelle beaucoup celui de la *Normandie* qui consistait en trois machines Woolf accolées. Les tiroirs sont placés sur l'avant des cylindres ; les tiges des tiroirs supérieurs sont formées par le prolongement de celles des grands tiroirs. Il n'y a donc que trois coulisses dont le relevage est commun ; il se fait à la vapeur au moyen d'un appareil Brown directement attelé à un levier de l'arbre de rappel : le mouvement est contrôlé par un cylindre à huile qui sert en outre à opérer le venouillage.

Comme nous l'avons dit, le cylindre d'admission et les deux cylindres à moyenne pression ont le même diamètre (1^m250) ; de même

pour les trois grands cylindres dont le diamètre est de 1m900. La course commune est de 1m700.

Les cylindres reposent sur des supports creux, en fonte, et très robustes, qui portent les glissières. Du côté opposé au condenseur, ces supports se terminent par des pieds à fourche qui ont pour but de dégager les vilbrequins et de les rendre parfaitement accessibles.

Les pompes à air, verticales, se trouvent sur le côté et sont commandées par des balanciers attelés sur les tiges de piston par l'intermédiaire de menottes. Les condenseurs, à surface, sont disposés transversalement. La circulation de l'eau est assurée dans chacun d'eux par une turbine mue par une petite machine à vapeur indépendante. Les pompes d'alimentation sont menées par les mêmes traverses que les pompes à air.

Les tiroirs des trois petits cylindres sont cylindriques, les trois autres sont du système ordinaire à doubles orifices. Les coulisses sont du système Stephenson à bielles croisées, à deux flasques.

Le palier de butée est placé immédiatement à l'arrière de la cloison étanche de la chambre des machines ; il porte 11 cannelures. Le diamètre de l'arbre à manivelles est de 0m575.

Les deux conduites de vapeur principales portent deux soupapes d'arrêt, une valve de manœuvre à main et la valve commandée par le régulateur Durham. La vapeur, avant de se rendre au tiroir d'introduction traverse un registre à double orifice ; avant de pénétrer dans les moyens cylindres, elle rencontre une soupape double d'échappement qui dirige, lorsque l'appareil fonctionne en triple expansion, l'évacuation du petit cylindre milieu aux petits cylindres extrêmes. La vapeur passe de ceux-ci dans les grands cylindres au moyen d'autant de tuyaux verticaux réunis par une conduite horizontale. Cette dernière porte en son milieu une soupape à main qui permet, pour la marche en compound, à la vapeur d'échappement du cylindre milieu à haute pression de se rendre directement dans la boîte à tiroir du cylindre inférieur. L'évacuation finale aux trois condenseurs se fait par des tuyaux également reliés entre eux par une conduite commune. Ces communications des différents tuyaux de vapeur ou d'échappement a pour but d'éviter qu'une avarie, survenue à un des organes, puisse paralyser le fonctionnement. On pour-

rait, par exemple, marcher seulement avec deux des petits ou deux des grands cylindres, et deux condenseurs. Il suffirait de faire en certains points des joints pleins pour empêcher, soit les fuites de vapeur, soit les rentrées d'air au condenseur. De même la décharge des pompes à air et le refoulement des trois turbines de circulation sont opérés dans un collecteur. Des organes de fermeture convenablement installés sur les différents tuyaux d'aspiration ou de refoulement permet, en marche, la visite et la réparation d'une quelconque des pompes de la machine.

La vapeur est fournie par un ensemble de corps évaporatoires qui se composent de quatre grandes chaudières à six foyers, tubulaires et à retour de flammes, ayant un diamètre de 4^{m},65 et une longueur de 5^{m},60, et de quatre chaudières du même système, mais plus courtes et à trois foyers seulement. Ces chaudières sont disposées dans le sens de la longueur en deux rangées. Il y a deux cheminées. Le dégagement de l'air chaud des chaufferies est assuré par quatre puits d'aérage munis de grillages à leur partie supérieure. L'air froid est amené par de nombreuses manches à vent.

Outre les trois moteurs des turbines, il y a, dans la chambre des machines : deux pompes à vapeur pour les water-ballasts, des petits-chevaux pour l'épuisement des cales et l'alimentation, un vireur à vapeur, trois machines commandant des dynamos.

L'épuisement des cales est assuré, en outre des pompes de la machine principale et des petits-chevaux, par les machines qui actionnent les treuils de déchargement placés sur le pont et par une pompe d'épuisement, à grand débit, placée dans l'entrepont.

L'appareil moteur ne comporte que six prises d'eau : une prise et une sortie d'eau pour chaque pompe de circulation (les sorties d'eau sont au-dessus de la flottaison) ; une prise d'eau commune à tous les water-ballasts et au petit-cheval qui est dans la chambre des machines ; deux prises d'eau pour les petits-chevaux des chaufferies. Des boîtes de distribution, munies de soupapes circulaires, permettent soit à une des pompes de water-ballast d'aspirer directement dans une quelconque des caisses à eau, soit aux pompes de cale ou aux petits-chevaux d'opérer, indépendamment, l'épuisement de tous les compartiments, ou directement dans chacune des crépines du compartiment des machines. On a également muni d'une aspiration directe les petits-chevaux des chaufferies.

A l'allure de 61 tours 6, avec une pression aux chaudières de 6 k. 50, ces machines, fonctionnant en compound, ont développé une puissance moyenne maximum de 9390 chevaux indiqués, correspondant à une vitesse de 18 nœuds 65. En triple expansion, à 52 t. 28, avec une pression de 7 k. 7, la puissance développée n'a été que de 5500 chevaux avec une consommation de charbon de 0 k. 840, compris le combustible dépensé pour le fonctionnement des appareils auxiliaires.

Ces machines présentent beaucoup d'intérêt, comme constituant une des principales applications que l'on ait faites jusqu'ici du principe de la triple expansion. Aucun autre appareil existant ne présente peut-être un meilleur équilibre des mouvements moteurs : la présence de six cylindres et de trois manivelles à 120°, concurremment à l'emploi de la triple expansion, assure une grande régularité par la réduction des efforts initiaux et de l'équilibre des couples de rotation ; la sécurité de la ligne d'arbres est assurée de la façon la plus satisfaisante, en même temps que le fonctionnement est économique.

Machines des paquebots CITY OF NEW-YORK et CITY OF PARIS

FAIRFIELD COMPANY.

Les deux appareils, dont l'ensemble constitue le mécanisme moteur de ces paquebots, du type à triple expansion à trois cylindres commandant un égal nombre de manivelles, sont séparés par une cloison longitudinale montant jusqu'au pont principal. La communication est établie d'un bord à l'autre par une porte mue du pont supérieur au moyen d'un pignon et d'une crémaillère.

Une des particularités de ces machines consiste en ce que leurs constructeurs se sont inspirés en bien des points des appareils de la marine militaire, en ce qui concerne les proportions générales et les dispositions d'ensemble ou de détails, afin d'en diminuer le poids et l'encombrement. Il en résultera peut-être des inconvénients qui se feront jour en service, car les machines des navire de guerre ne sont pas, comme celles des paquebots, destinées à développer à peu près constamment leur maximun de puissance.

La plaque de fondation, qui repose sur un carlingage très robuste, est en acier coulé ; elle se compose de trois pièces pesant chacune environ 16 t.

Les supports des cylindres sont également en acier coulé, de section rectangulaire et creux. Ils affectent la forme d'un parallélipipède irrégulier. Comme à bord des navires de guerre, les condenseurs ne font pas partie du bâti ; ils sont en laiton et sont indépendants du reste de l'appareil.

Les pistons sont en acier coulé à souche simple. Tous les arbres sont en acier forgé ; l'arbre à manivelles est du système dit *built-up*.

Les pistons portent des contre-tiges.

Tous les tiroirs sont cylindriques. Il y en a un pour le cylindre HP, deux pour le cylindre MP, quatre pour le cylindre BP. Ces derniers sont mûs, par groupes de deux, au moyen de deux coulisses situées de part et d'autre du cylindre. Les tiroirs ont été ainsi fractionnés afin de diminuer leur volume et celui de l'espace mort tout en conservant les mêmes sections de passage.

La distribution est effectuée par des coulisses ordinaires. Les colliers d'excentriques sont en acier coulé garni d'antifriction.

Une valve auxiliaire de vapeur est contrôlée par un régulateur Dunlop.

Le vireur ordinaire est remplacé par un appareil hydraulique se composant d'un piston vertical actionnant une roue à rochet clavetée sur l'arbre.

Seules les pompes à air sont mues par la machine principale. Elles sont du type ordinaire, vertical, à simple effet et au nombre de deux. Elles sont actionnées au moyen de balanciers, l'une par la tige de piston du cylindre HP, l'autre par la tige du piston MP. Une petite pompe épuise l'huile qui tend à s'accumuler dans les caissons des manivelles et la refoule dans le tube d'étambot.

Chaque chambre de machine contient deux pompes de cale et à incendie. Ces pompes sont disposées de manière à pouvoir au besoin servir à l'alimentation ; elles sont également reliées aux drains des doubles-fonds.

La circulation est assurée dans chaque condenseur au moyen de deux turbines mues par des machines indépendantes.

On a disposé des distillateurs munis de pompes de circulation et

d'alimentation, fonctionnant automatiquement, et du système Worthington.

On trouve aussi dans les chambres de machines les pompes de compression desservant les nombreuses installations hydrauliques du bord. Les moteurs de ces pompes sont compound, à condensation par surface et du système Brown. Elles desservent sept grues, neuf mâts de charge, deux cabestans et un guindeau.

Les chaudières sont alimentées au moyen de pompes Worthington verticales associées à un réchauffeur système Gilmour. Au moyen de cet appareil, l'eau d'alimentation est échauffée par de la vapeur venant directement des chaudières ; l'alimentation est contrôlée automatiquement par des flotteurs. Grâce à ce système, on n'introduit pas d'eau froide dans les chaudières, ce qui est excellent pour leur conservation. On réalise en outre une petite économie puisque l'on utilise la chaleur latente de la vapeur employée au réchauffage.

Les chaudières, au nombre de neuf, sont en acier et timbrées à 10,54 k. Elles sont réparties dans trois compartiments étanches. Ces chaudières sont à six foyers de grand diamètre. Chacune pèse 74 t.

Le tirage est forcé et effectué en vase clos. C'est la première application de ce système fait sur une grande échelle à bord d'un transatlantique et nous avons la conviction que les constructeurs s'en repentiront. Il eût été plus rationnel et plus pratique d'appliquer le tirage forcé par insufflation sous les grilles, avec ou sans réchauffage de l'air comburant. Le vent est forni par douze ventilateurs de $1^{m},65$ de diamètre.

Au nombre des appareils auxiliaires, il faut encore citer quatre machines compound tournant en moyenne à 200 tours et qui commandent les dynamos. Ces dernières, actionnées par des courroies, tournent à 800 tours. Ajoutons un appareil réfrigérant, du système Kilburn, comportant une machine motrice verticale et deux compresseurs d'ammoniaque.

Voici maintenant les dimensions principales de ces appareils :

MACHINES PRINCIPALES

Nombre de machines.		2
Nombre de cylindres par groupe		3
Diamètre des cylindres	à haute pression	1,143 *m*
	à moyenne pression	1,803
	à basse pression	2,870
Course commune des pistons		1,524
Diamètre de l'arbre à manivelles		0,514
Diamètre de l'arbre de transmission		0,489

MACHINES AUXILIAIRES

Alimentation.

Nombre de groupes	4
Nombre de cylindres à vapeur par groupe	2
Nombre de pompes	2
Système des pompes : Worthington double effet.	
Diamètre des cylindres à vapeur	0,305 *m*
Course des plongeurs	0,254

Eclairage électrique.

Nombre de groupes	4
Diamètre du cylindre HP	0,190 *m*
Diamètre du cylindre BP	0,330
Course commune	0,305
Nombre de tours	200

Réfrigérant

Diamètre du cylindre à vapeur.	0,152 *m*
Course du cylindre à vapeur	0,305
Diamètre du cylindre du compresseur	0,127
Course du cylindre du compresseur	0,254
Nombre de tours	100

APPAREILS ÉVAPORATOIRES

Nombre de corps	9
Diamètre d'un corps	4,724 *m*
Longueur d'un corps.	5,791
Epaisseur des tôles	32,4 *mm*
Timbre . . . . , .	10.54 *k*
Diamètre des foyers	1,193 *m*
Longueur utile des tubes	2.285
Diamètre des tubes	60 *mm*
Nombre des tubes par corps.	1056
Nombre des tubes total	9504
Surface de chauffe totale.	4503,60 m^2

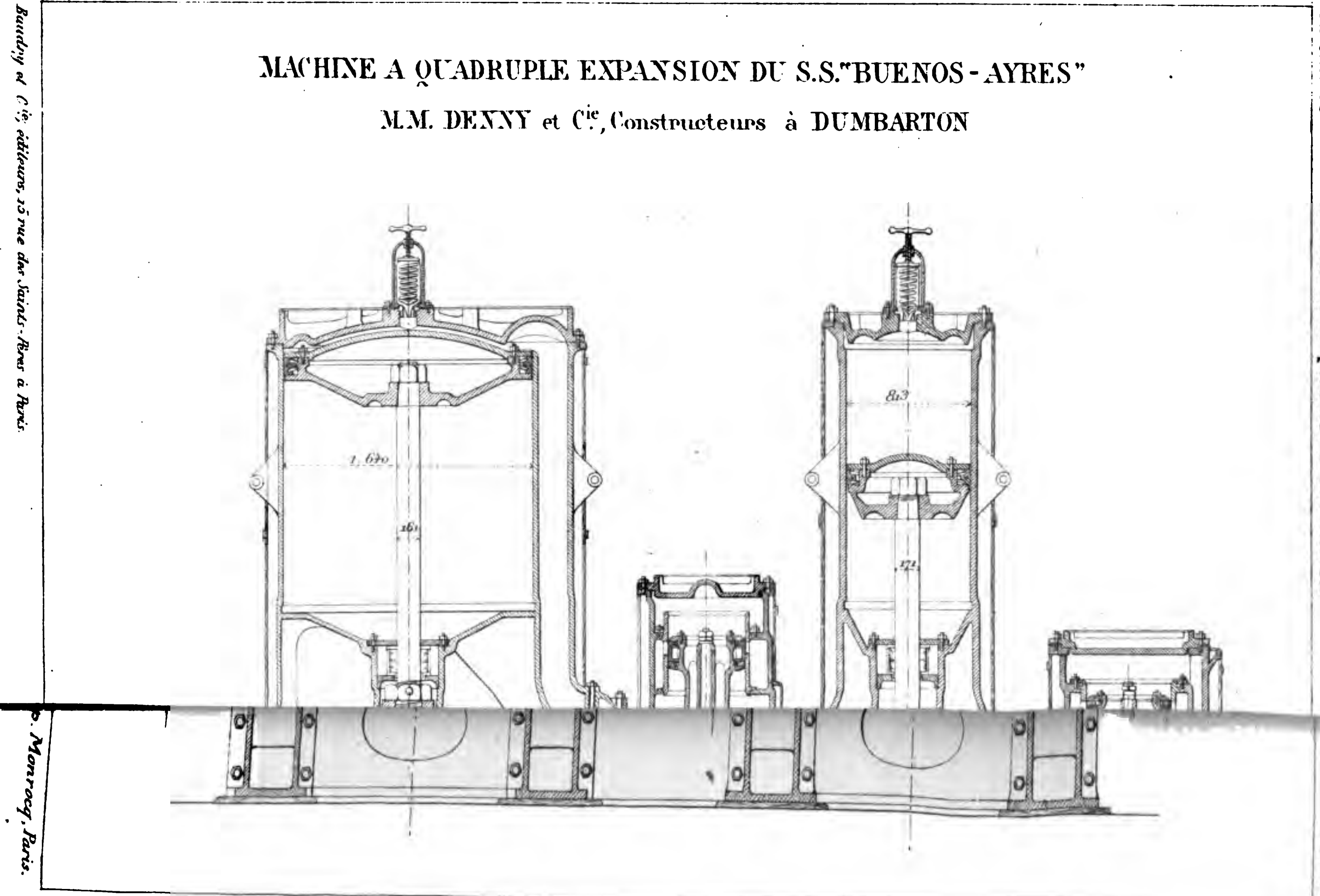
Machine à quadruple expansion du ss. FALLS OF INVERSNAID.

(*Rankine and Blackmore*)

Cette machine est du type pilon à quatre cylindres commandant deux manivelles calées à angle droit. Le cylindre à haute pression est superposé au premier cylindre intermédiaire, et le second intermédiaire se trouve au-dessus du grand cylindre. De cette disposition, il résulte que l'appareil en question se compose de deux groupes susceptibles de fonctionner isolément le cas échéant, chacun comme une machine Woolf. Dans le but de compléter ce dispositif, on a installé un tuyau qui permet à l'échappement du premier cylindre intermédiaire de se rendre directement au condenseur, et un détendeur sur la boîte à tiroir du troisième cylindre, afin que la vapeur des chaudières puisse y être directement introduite en cas d'avarie à l'autre paire de cylindres.

De même, on a eu soin de disposer deux chaudières et deux ventilateurs pour le tirage forcé.

Afin de faciliter le démontage ou la visite du grand piston sans enlever les cylindres supérieurs, il n'y a, entre les deux plateaux correspondants, qu'un presse-étoupes ajustable de l'extérieur. La boîte qui contient la garniture est en deux parties et peut s'enlever sans que l'on ait à toucher aux fonds des cylindres.



Baudry et Cie, éditeurs, 15 rue des Saints-Pères à Paris. ...p. Monrocq, Paris.

Le tiroir du petit cylindre est cylindrique, les trois autres sont du type ordinaire. La distribution est du système Stephenson, avec changement de marche opéré par une petite machine à vapeur sans renversement qui agit sur l'arbre de rappel par l'intermédiaire d'une vis sans fin et d'un pignon hélicoïdal.

La vapeur est fournie par deux chaudières en acier ayant 3 m. 90 de diamètre et 3 m. 30 de longueur, timbrées à 12 k. 40.

Bien que ces chaudières soient destinées à fonctionner à tirage forcé, elles sont suffisamment volumineuses pour suffire au tirage naturel. Le tirage artificiel est opéré par insufflation dans les cendriers avec rentrée d'air au-dessus de la grille. L'air est refoulé par deux ventilateurs dont les machines motrices sont compound ; comme l'échappement de ces dernières est dirigé dans la boîte à tiroir du grand cylindre, leur fonctionnement est en réalité à triple expansion comme celui des machines principales.

Machines à quadruple expansion du s. s BUENOS-AYRES.

(Denny and C°)

PLANCHE IV

Cette machine appartient à un type breveté par M. Brock et construit par MM. Denny, de Dumbarton.

Le but de cette disposition spéciale, que nous allons décrire, est surtout de simplifier les organes de la distribution et de diminuer le nombre des presse-étoupes.

Comme tous les appareils de ce système, la machine du *Buenos-Ayres* est du système pilon à deux manivelles, les cylindres étant disposés en tandem. Toute la partie basse est du modèle ordinaire. Les deux cylindres supérieurs ont des tiroirs cylindriques, les deux autres ont des tiroirs plans à doubles orifices. Le tiroir à haute pression admet par ses arêtes intérieures et l'échappement se fait dans la boîte qui l'entoure, laquelle est commune avec le tiroir inférieur, monté sur la même tige et commandé par les mêmes excentriques. La vapeur sort du second cylindre par l'intérieur de la coquille de son tiroir à la manière ordinaire. Par le moyen d'un conduit annulaire, elle se rend à l'intérieur du troisième tiroir qui est cylin-

drique, nous l'avons vu. La vapeur passe ensuite dans le quatrième et dernier cylindre, de la même manière que pour les deux premiers. Le fonctionnement est identique pour les deux paires de cylindres constituant chaque groupe de tandem.

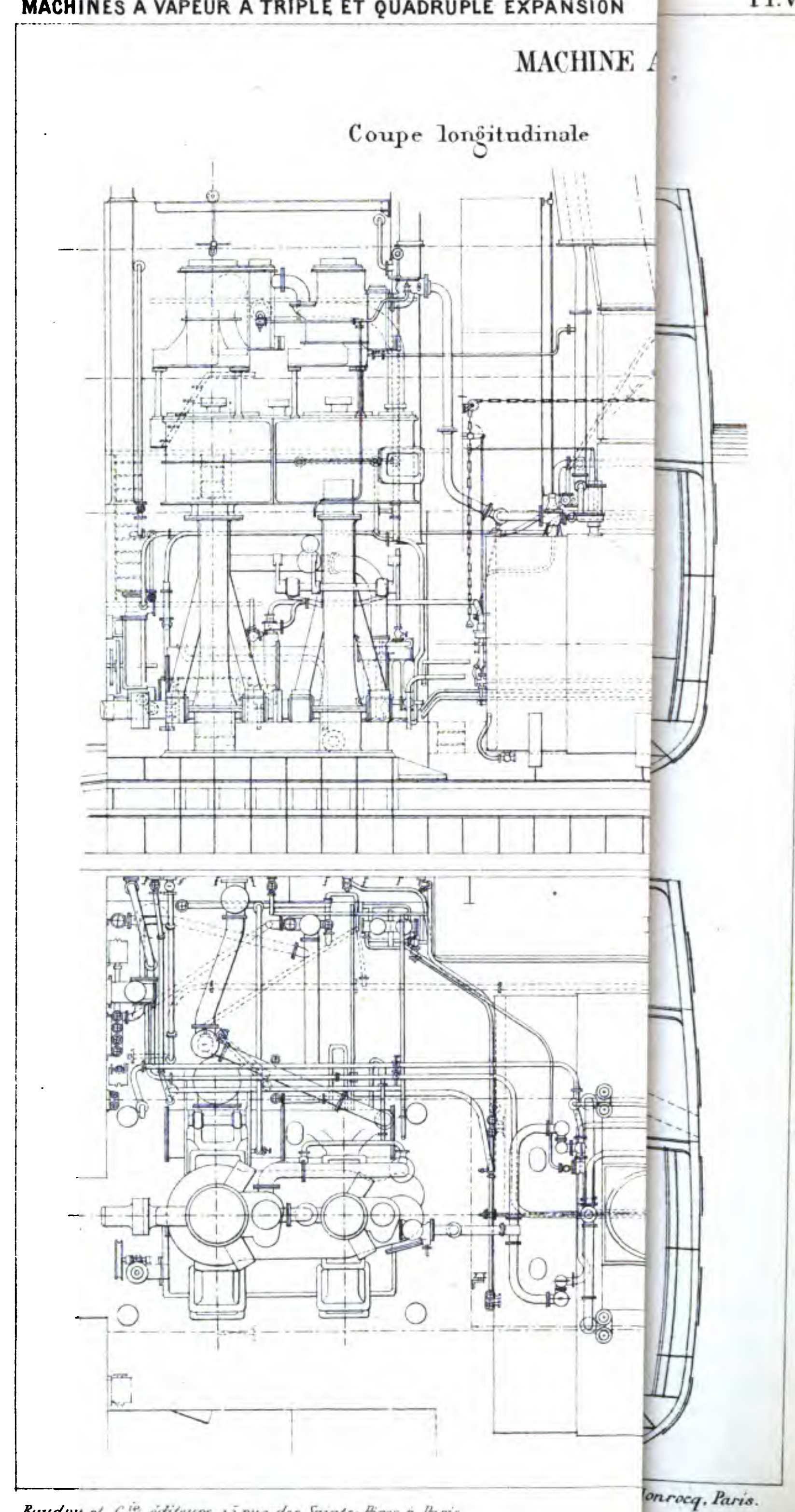
Les deux tiroirs supérieurs sont constitués par des pistons inégaux deux à deux, de manière à équilibrer le poids des tiroirs et de leurs tiges.

On voit, en somme, que cette disposition dispense de l'emploi de deux presse-étoupes à chaque tige de tiroir et permet de n'avoir qu'une seule boîte pour deux d'entre eux ; en outre le poids des organes de la distribution est équilibré par un moyen simple, ne nécessitant pas de renvois de mouvement. Les tiroirs inférieurs sont fixés de telle sorte sur leur tige qu'ils puissent être retirés par le coté, sans qu'il soit nécessaire de démonter les tiroirs cylindriques qui les surmontent, par contre, les conduits de vapeur des cylindres supérieurs sont compliqués et contournés ce qui rend leur construction assez difficile et interdit avec ces machines l'adoption de grandes vitesses de piston.

Il n'existe qu'une garniture métallique entre les deux cylindres correspondants. Afin de les rendre facilement accessibles en route, les fonds correspondants sont coniques et présentent entre eux une cavité de section trapézoïdale, munie d'une porte qui donne accès sur le presse-étoupes. Dans les machines de dimensions moyennes, cette porte est assez grande pour laisser le passage à un homme. Les pistons, en acier, sont à souche unique, de forme tronconique ce qui leur procure beaucoup de rigidité. Afin d'éviter de donner au plateau du petit cylindre une forme tourmentée sans accroître les espaces morts, la partie supérieure des pistons est recouverte d'un disque en fonte qui présente une surface unie.

Ajoutons, au nombre des avantages de ce système, l'absence complète de tuyaux entre les cylindres supérieurs et inférieurs.

Les appareils à quadruple expansion à deux manivelles ne présentent peut-être pas la même régularité que les machines à trois manivelles, mais on ne doit pas oublier qu'ils sont, sous ce rapport, très supérieurs aux compounds à deux cylindres à cause de la moindre variation de la pression moyenne sur chaque piston. En outre, ce type convient tout particulièrement pour la transformation



Baudry et Cie, éditeurs, 15 rue des Saints-Pères à Paris

[...]onrocq, Paris.

de machines compound existantes sans qu'il soit nécessaire de changer aucun organe du mécanisme.

(Voir les dimensions, tableau n° 2).

Machine à quadruple expansion du s. s. COUNTY OF YORK.
Barrow Shipbuilding Company

PLANCHE V

Cette machine se compose de deux groupes de tandems constitués, l'un par le petit cylindre et le second intermédiaire, l'autre par le premier intermédiaire et par le grand cylindre. Les deux cylindres supérieurs reposent sur les grands au moyen de trois colonnettes chacun.

Les trois premiers tiroirs sont cylindriques, celui du cylindre à basse pression est plat et à doubles orifices, du système *Thom*, qui a pour but d'accroître l'effet de la compression, généralement faible dans le cylindre de détente.

Les cylindres reposent sur la plaque de fondation par l'intermédiaire du massif du condenseur à babord et par deux supports en fonte creux à tribord.

Les pompes sont actionnées par un balancier articulé sur la traverse du groupe avant.

La distribution est opérée par des coulisses ordinaires.

La vapeur est fournie par deux chaudières cylindriques en acier à trois foyers (Fig. 4, 5, 6).

(Voir les dimensions générales de cet appareil, Tableau n° 2).

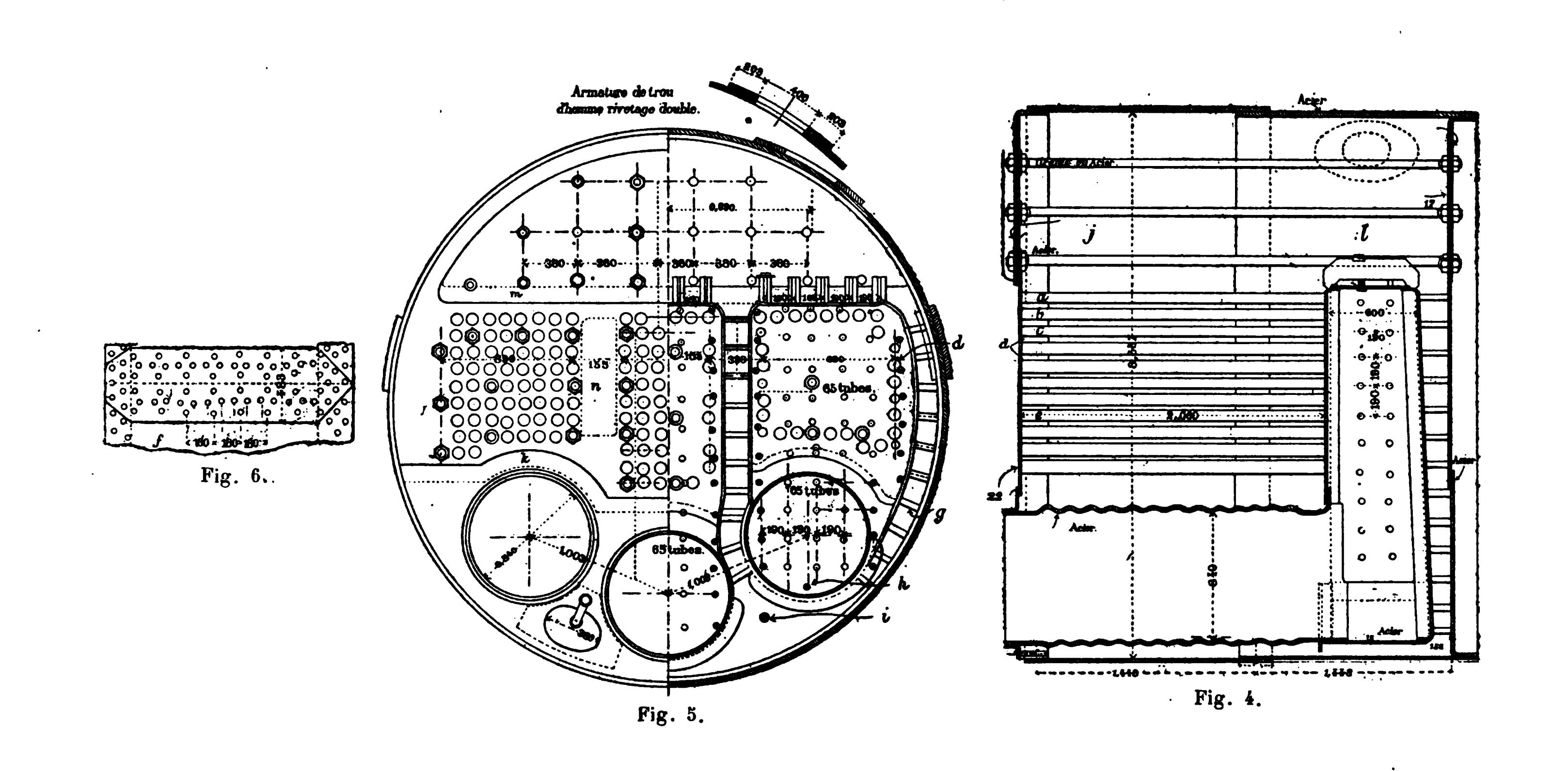


Fig. 6.

Fig. 5.

Fig. 4.

Légende des figures 4 à 6.

a. 104 tubes ordinaires de 2,06m de long×0,082m de diamètre extérieur ; mandrinés de 1,6mm à chaque bout.
b. 12 tubes tirants de 2,20m de long × 0,082m de diamètre extérieur ;
c. 10mm d'épaisseur, vissées dans la plaque même sur un diamètre de 0,082m et sur la plaque avant sur un diamètre de 0,988m.
d. 24 tirants pleins en acier de 70mm de diamètre.
e. 2,060m entre plaques tubulaires.
f. Rivetage de l'enveloppe :
Rivets de 30mm de diamètre, en acier doux.
Couvre-joints : 28mm d'épaisseur.
Deux tôles par virole.
g. Entretoises vissées, de 35mm de diamètre ; diamètre à l'intérieur des filets 31,5mm ; écrous aux deux bouts.
h. Entretoises de 41mm de diamètre, vissées dans les deux plaques avec écrous à chaque bout.
i. Tirant en acier de 60mm.
j. Tôle doublante de 14mm d'épaisseur.
k. Rivets de 28mm de diamètre, 82mm de longueur, en quinconce.
l. Entretoises de 35mm de diamètre vissées dans les deux plaques et portant des écrous à l'intérieur de la boîte à feu.
m. Rivets de 28mm de diamètre en quinconce.
n. Tôles d'acier de 12mm5 rivée sur la plaque tubulaire de tête, à l'intérieur.

COMPLÉMENTS DIVERS DES MACHINES A DÉTENTES SUCCESSIVES.

Les machines marines à cascades sont fréquemment complétées par diverses installations qui ont pour but soit d'accroître leur rendement, soit d'améliorer leur régime, soit de remédier à certains inconvénients que présente l'usage des hautes pressions.

Nous citerons d'abord l'emploi judicieux et modéré du tirage artificiel. Nous n'envisagerons pas ce dernier dans son application aux navires de guerre où il a uniquement pour but une production plus abondante de vapeur aux dépens le plus souvent de la consommation de combustible. Nous montrerons au contraire les avantages économiques que l'on peut en retirer lorsque les proportions des appareils évaporatoires sont convenablement choisies et moyennant quelques dispositions spéciales qui le rendent d'un emploi avantageux pour la marine commerciale.

On sait que le tirage forcé permet, par une intensité plus grande

de la combustion, d'obtenir la même puissance d'une grille plus petite. Ce n'est pas le seul effet qui se produise.

La quantité de chaleur transmise du combustible en ignition à la masse liquide étant, jusqu'à un certain point, proportionnelle à la différence des températures régnant dans les deux enceintes, plus cette différence sera élevée et plus la quantité de chaleur transmise par unité de surface et de temps sera grande. Par conséquent, la température développée dans un foyer fonctionnant par le tirage forcé étant plus élevée, il est évident que les produits de la combustion agissant sur une même surface de chauffe que dans une chaudière où le tirage est produit par les moyens naturels, cèderont une plus grande quantité de leur chaleur. En d'autres termes, les surfaces de chauffe restant les mêmes dans les deux cas au point de vue de la conductibilité et de la disposition d'ensemble, le rendement sera accru par l'élévation de la température du foyer et une plus petite surface de chauffe correspondra à une même perte de calories par les gaz. Cela n'est vrai bien entendu que pour une certaine limite ; si le tirage est poussé trop loin, les gaz sortent plus chauds, les tubes restant les mêmes, et le rendement diminue.

L'économie à réaliser par l'emploi du tirage forcé réside surtout dans l'application rationnelle de ce principe combiné à d'autres perfectionnements, tels, par exemple, que le chauffage de l'air comburant par les gaz perdus.

De la réduction des surfaces de grille et de chauffe résulte celle de la dimension et du poids des chaudières et de l'eau qu'elles contiennent, laquelle entraîne une augmentation de l'exposant de charge et une diminution du prix de premier achat, ce dernier n'étant que faiblement contrebalancé par le coût des installations spéciales qu'il faut prévoir.

A ces avantages s'ajoute celui de pouvoir brûler, grâce au tirage artificiel, un combustible de qualité inférieure et de plus bas prix, considération qu'aucun armateur ne saurait dédaigner. En outre, la chauffe devient indépendante des conditions atmosphériques, quelles que soient la direction du vent, la température de l'air extérieur, il sera toujours possible de maintenir au degré voulu la production de vapeur.

Il est utile de faire remarquer que les avantages économiques du

tirage forcé sont intimement liés à la quantité d'air allouée pour la combustion d'un kilogramme de charbon. Il semble démontré que ce mode de tirage n'entraîne une meilleure utilisation qu'autant que le poids d'air envoyé dans le foyer reste inférieur à 18 kilogr. par kilogr. de charbon. On ne peut arriver à ce résultat que par une proportion constante de l'épaisseur de la couche de combustible et de la pression du vent.

Voici d'après *Engineering*, et réduits en mesures françaises, les résultats d'essais faits sur les chaudières de quatre bâtiments semblables munis des mêmes machines à triple expansion de 1000 chevaux indiqués et fonctionnant à 10 k. 54.

TABLEAU N° 5.

Numéros des bâtiments.	N° 1.	N° 2.	N° 3.	N° 4.
Timbre	$10^{k},50$	$10^{k},54$	$10^{k},54$	$10^{k},54$
Diamètre des chaudières	$3^{m},96$	$3^{m},96$	$3^{m},35$	$3^{m},35$
Longueur	$3^{m},20$	$3^{m},20$	$3^{m},20$	$3^{m},05$
Nombre des foyers	6	6	4	4
Diamètre moyen des foyers	$0^{m},914$	$0^{m},914$	$0^{m},863$	$0^{m},863$
Longueur des grilles	$1^{m},676$	$0^{m},762$	$1^{m},220$	$1^{m},206$
Nombre des tubes	384	384	540	332
Diamètre des tubes	$95^{m}/^{m}$	$95^{m}/^{m}$	$70^{m}/^{m}$	$70^{m}/^{m}$
Longueur des tubes	$2^{m},286$	$2^{m},286$	$2^{m},286$	$2^{m},134$
Surface de chauffe totale	$321^{m2},43$	$321^{m2},43$	$315^{m2},86$	$188^{m2},40$
— de grille	$9^{m2},29$	$4^{m2},226$	$4^{m2},226$	$4^{m2},18$
Poids des chaudières vides	62 t.	62 t.	53 t.,6	41 t.,5
Surface de chauffe par cheval indiqué	$0^{m2},3214$	$0^{m2},3214$	$0^{m2},3159$	$0^{m2},1888$
Charbon brûlé par mètre carré de grille	78^{k}	156^{k}	156^{k}	156^{k}
— par cheval-heure	$0^{k},726$	$0^{k},661$	$0^{k},661$	$0^{k},635$
Température des gaz dans la cheminée en degrés centig.	263°	241°	318°	318°

Le premier de ces bâtiments fonctionne à tirage naturel. Le tirage forcé a été appliqué aux trois autres, dans le second on a conservé les mêmes chaudières, la surface de grille seule a été réduite dans une proportion convenable ; dans le troisième, on a réduit le diamètre et le nombre des tubes, le poids des chaudières et de l'eau, mais la surface de chauffe est restée la même que dans les précédents. Enfin, dans le quatrième, la surface de chauffe a été diminuée et on a adopté des dispositions permettant le réchauffage de l'air comburant, avant son envoi dans le foyer, par les gaz perdus de la boîte à fumée et de la cheminée. Dans son application aux navires de commerce, le tirage forcé ne saurait être, sauf de rares exceptions, produit en chambre close, ce système exigeant des dispositions très coûteuses de portes étanches et de sas à air lesquelles entraînent une trop grande complication du service et de la manœuvre, surtout pour l'enlèvement des escarbilles. L'insufflation dans les cendriers est à peu près la seule usitée.

Les moteurs à grande vitesse actionnant directement les ventilateurs, tolérables à bord des navires de guerre, sont dans les bâtiments de commerce une source d'ennuis fréquents ; c'est un des inconvénients du tirage forcé. On paraît tendre à les remplacer aujourd'hui par des machines genre Brotherhood.

Ces petits appareils consomment beaucoup de vapeur, aussi est-il de toute nécessité de diriger leur échappement dans le réservoir intermédiaire de la machine principale, afin qu'ils fonctionnent suivant le mode compound ; cette dernière disposition est plus simple que l'emploi de deux cylindres inégaux conjugés.

Il existe encore de nombreux perfectionnements à réaliser dans l'emploi du tirage forcé qui est appelé, nous n'en doutons pas, à un grand avenir, et qui, peut-être, remplacera un jour le tirage naturel à bord des grands navires, même de la marine commerciale. Indépendamment des considérations que nous avons rappelées plus haut, il semble que l'on puisse retirer un bénéfice considérable du réchauffage de l'air comburant par les gaz perdus de la combustion. Nous citerons à ce sujet le système de M. James Howden, breveté en France, et dont il a fait récemment plusieurs applications. Ce dispositif, qui peut être le point de départ de perfectionnements sérieux applicables aux chaudières marines, mérite une courte description.

Le but que s'est proposé l'inventeur est surtout :

1° D'effectuer une combustion aussi complète que possible ;

2° D'obtenir une combustion rapide sans aucun changement dans l'agencement usuel des chaufferies à tirage naturel ;

3° De réaliser ces différentes conditions avec le minimum possible de gêne pour les chauffeurs et de fatigue pour les foyers et les chaudières.

Pour atteindre ces différents résultats, tout en employant le courant d'air produit par un ventilateur, il fallait que les agents aient un contrôle parfait du débit d'air, que la quantité de cet air nécessaire par unité de temps et pour chaque intensité de combustion fût parfaitement définie, que la répartition de l'air fut égale en tous les points de la grille et limitée, dans la mesure du possible, à la quantité théorique, afin que la perte de calorique soit réduite au minimum.

Sur la surface de la chaudière est disposée une boîte en tôle mince, destinée à recevoir l'air insufflé par un ventilateur. Cette chambre à vent occupe presque toute la façade du générateur de façon à envelopper foyers et cendriers. Les différents compartiments de la boîte à fumée sont séparés de cette chambre. De cette manière, l'air ne peut s'introduire dans les foyers ou dans les cendriers que par des orifices contrôlés par des valves. Les foyers ont des doubles portes, celles de l'extérieur étant étanches à l'air ; entre elles arrive une partie du vent. Ce dernier peut alors être projeté à la surface du combustible incandescent par des trous ménagés dans la porte intérieure. Des clapets permettent d'introduire l'air dans les cendriers en quantité convenable.

Le calorique contenu dans les gaz de la combustion est utilisé, en partie du moins, et c'est là un des points capitaux de ce système, à chauffer l'air comburant, lequel passe, à la sortie du ventilateur, autour des tubes que traversent les gaz avant de se rendre à la cheminée.

L'inventeur, se basant sur ce que, grâce à l'injection d'air sur le combustible en ignition, la combustion se fait mieux, avec un moindre volume d'air, que dans les foyers ordinaires à tirage forcé, et que la chaleur des gaz perdus est utilisée dans une large mesure, annonce une économie de 12 0/0 environ sur les autres systèmes con-

nus. C'est aussi ce que tendent à démontrer les essais faits par la compagnie Transatlantique, d'un système analogue.

Les réchauffeurs d'alimentation par la vapeur, qu'il ne faut pas confondre avec les réchauffeurs ordinaires par les gaz perdus, se sont répandus en même temps que l'usage des hautes pressions bien que d'une façon moins générale.

Ces appareils, qui pourraient s'imposer un jour comme complément des machines à triple et quadruple expansion, sont basés sur un principe controversable en apparence.

Une faible dérivation de vapeur provenant, soit des chaudières, soit du réservoir intermédiaire de la machine, sert à réchauffer l'eau d'alimentation à une température d'environ 90°.

Ce dispositif présente sur les réchauffeurs par les gaz perdus l'avantage d'être plus durable, puisque les joints qui doivent résister à la pression de refoulement des pompes ne sont plus soumis à la haute température qui règne encore dans la boîte à fumée.

Le but des réchauffeurs ainsi conçu est double. Il résulte en effet de ce système une certaine économie, puisque la chaleur latente de la vapeur employée à ce réchauffage, laquelle serait perdue dans le condenseur, est ainsi utilisée. En outre, et c'est là le point capital, on n'introduit plus, dans des chaudières fonctionnant à des pressions de 10 à 12 kil., que de l'eau déjà chaude, ce qui se traduit par une bien meilleure conservation des chaudières.

Ajoutons que ces réchauffeurs sont disposés pour épurer l'eau d'alimentation de l'huile qu'elle absorbe dans le condenseur et de l'air qu'elle contient, tous deux très pernicieux pour les chaudières. Il existe un grand nombre de dispositifs ayant pour but de réaliser pratiquement ces desiderata ; les plus connus sont le réchauffeur de *Weir* et celui de *Mac-Laine*. Ces appareils comportent une alimentation automatique par des petits-chevaux.

MACHINES FIXES

Le nombre des applications qui ont été faites jusqu'ici du principe de la triple expansion aux machines fixes est encore trop restreint pour que l'on puisse donner un grand nombre d'exemples et

formuler à leur égard des règles précises. Ces appareils diffèrent surtout des appareils de navigation par la présence d'un volant, aussi lourd qu'on le juge nécessaire. Grâce à cette circonstance, la régularité des moments moteurs, et l'égale répartition du travail dans les différents cylindres, présente moins d'intérêt. Aussi, est-il facile de prédire que ces machines se répandront sous la forme des tandems à deux manivelles, plutôt que sous celle de machines à trois bielles.

Certains constructeurs n'ont même pas craint d'atteler les trois pistons sur une traverse commune actionnant une bielle unique.

MM. Sulzer ont exposé à Paris une machine à triple expansion dans laquelle les trois cylindres sont disposés en tandem ; le grand cylindre, qui est à double effet, étant placé entre les deux autres à simple effet.

Il est permis de penser que l'introduction des machines à triple expansion, comme moteurs d'usine, entraînera une ressemblance de plus en plus grande avec les machines marines (1) et la résurrection des tiroirs ordinaires. Les distributions par déclic ne s'imposent plus, en effet, avec des machines qui peuvent être réglées pour des admissions de 0,60.

Afin de parer à l'encombrement que présentent les machines tandems à deux manivelles et quatre cylindres, on arrivera rapidement à l'adoption du type à pilon. Ce dernier occupe en effet un emplacement minimum ; il présente en outre cet avantage que les cylindres ne sont plus sujets à l'ovalisation sous l'influence du poids des pistons et que l'usure des différentes articulations, particulièrement des paliers, n'entraîne pas, comme pour les machines horizontales, le dérèglement des axes. Les jeux ne font que s'ajouter et il est facile d'y remédier par un simple serrage.

(1) Surtout pour les machines rapides destinées à actionner des dynamos. On en a vu des exemples à l'Exposition de 1889 ; exposition de MM. *Weyher, et Richemond, et Sulzer.*

CONCLUSIONS

Nous venons de décrire un assez grand nombre de machines, choisies à dessein parmi des modèles très différents et que nous pensons devoir fixer les idées du lecteur. On a vu que les machines à triple expansion se répandent aussi bien dans la marine de guerre que dans la marine commerciale. L'économie de charbon qui résulte de leur adoption se trouve utilisée, dans le premier cas, pour augmenter soit la puissance, soit le rayon d'action, quelquefois tous deux à la fois ; dans le second cas, elle devient plus précieuse encore en rendant moins onéreux les frais de transport et en permettant d'utiliser pour la cargaison une plus grande fraction du déplacement, puisque le poids de combustible, pour un voyage déterminé, se trouve notablement diminué.

On peut dire sans exagération que la création de machines très puissantes, de quinze à vingt mille chevaux par exemple, n'est pratiquement réalisable aujourd'hui que grâce à l'emploi des machines à cascades qui permettent d'atteindre de telles puissances avec des chaudières bien moins volumineuses et puissantes qu'on aurait pu le croire il y a quelques années, et sans que l'approvisionnement de charbon pour un trajet donné atteigne un poids incompatible avec le déplacement. Aussi, et cela est très important, ne doit-on pas envisager les nouvelles machines au seul point de vue de l'économie, mais peut-on les considérer comme un auxiliaire puissant des progrès de la mécanique et de la navigation, par les facilités qu'elles procurent de résoudre des problèmes considérés, il y a peu d'années, comme d'une réalisation chimérique.

Grâce aux progrès de l'outillage et des connaissances pratiques, les difficultés soulevées par l'emploi de la vapeur à haute pression ont été convenablement vaincues.

L'expérience a démontré que l'usage des pressions élevées, de 10 à 14 kil., avec des chaudières tubulaires ordinaires, est d'une application suffisamment pratique pour que l'on puisse y avoir recours lorsque l'on veut créer des moteurs réellement économiques.

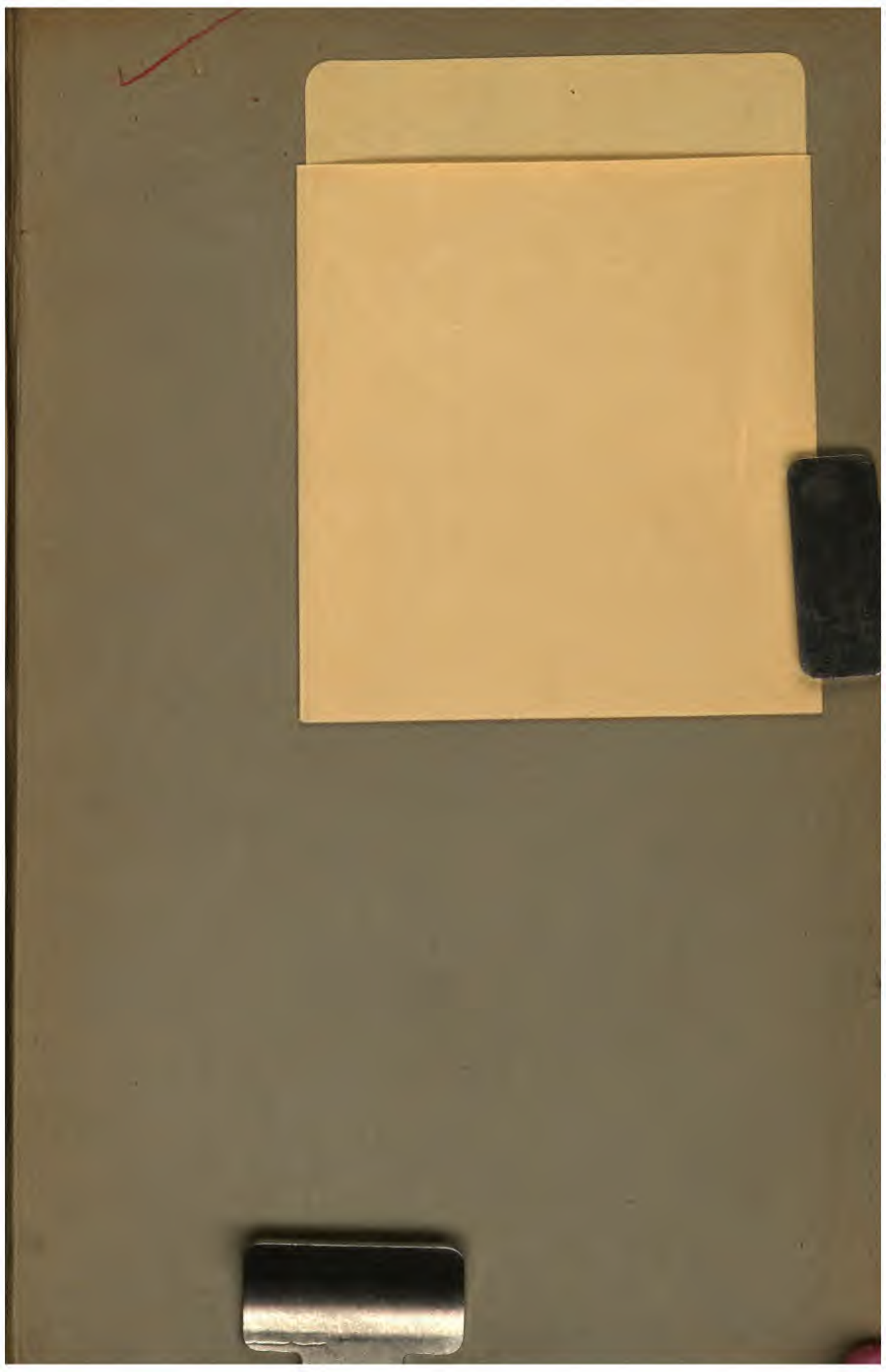
Théoriquement, le moteur le plus économique fonctionnera à la température la plus élevée avec un nombre correspondant de cascades. En pratique, on doit choisir un moyen terme qui concilie la dépense minima de vapeur avec les facilités convenables de construction, de conduite et d'entretien. Or, ce moyen terme, dans la plupart des cas, paraît être la machine à triple expansion, d'un emploi avantageux dans presque tous les cas où l'on adopte encore la machine compound. Quant à la machine à quadruple expansion, elle paraît convenir surtout dans les cas où l'on désire obtenir avant tout une très grande économie de combustible ; c'est ce qui explique la lenteur avec laquelle elles se répandent dans la marine militaire, où l'économie de charbon est d'une importance secondaire et intervient surtout pour perfectionner les moyens dont on dispose et en accroître l'efficacité.

Nous ferons remarquer à ce sujet que l'on a toujours avantage à adopter la quadruple expansion, lorsque l'on se propose de construire une machine ayant plus de trois cylindres. Il ne peut y avoir d'hésitation que si ces derniers sont au nombre de quatre et que l'on tienne à la présence de deux petits cylindres pour assurer la mise en route.

En résumé, l'on peut dire que la généralisation des machines à détentes fractionnées, jointe à l'emploi de pressions élevées, constitue un progrès comparable à celui qui, depuis vingt-cinq ans, a été réalisé par l'application universelle du principe compound.

FIN

Laval. — Imprimerie et stéréotypie E. JAMIN, 41, rue de la Paix.




89089672117
b89089672117a